

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO*

**UTILIDAD DEL MEDIDOR DE CLOROFILAS (SPAD-502®)
EN LOS PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN
NITROGENADA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN
REGADÍO.**

presentado por

SUSANA SORBET PEZONAGA

aurkeztua

INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN INDUSTRIAS AGRARIAS Y
ALIMENTARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO *NEKAZARITZA ETA ELIKADURA*
INDUSTRIAK

Noviembre, 2013

RESUMEN

Utilidad del medidor de clorofilas (SPAD-502®) en los programas de fertilización nitrogenada de trigo (*Triticum aestivum* L.) en regadío.

El nitrógeno es uno de los elementos más importantes en el desarrollo de los cultivos ya que es el nutriente que limita la producción de muchos de ellos debido a sus elevadas necesidades. Es necesario ajustar la dosis de nitrógeno disponible para la planta y por tanto la dosis de fertilización nitrogenada que se va aplicar al cultivo. En este sentido, determinar el estado nutricional de un cultivo de trigo, resulta primordial para ajustar la dosis de fertilización nitrogenada con el fin de obtener rendimientos en cosecha próximos al máximo potencial y optimizar los parámetros de calidad del grano para su utilización en industria panadera.

El estado nutricional del cultivo esta relacionado con el contenido en clorofilas en la hoja y este a su vez, con la concentración de N en ella, por lo que resulta útil conseguir su determinación con métodos que proporcionen resultados inmediatos y no destructivos como los medidores de clorofila SPAD-502®. Los sistemas tradicionales conllevan destrucción de las muestras tomadas de la planta y la obtención de resultados se prolonga en el tiempo, al requerir métodos analíticos en laboratorio.

Los valores obtenidos con los medidores de clorofilas en diferentes estados fenológicos del cultivo pueden ser útiles para estimar, además, el porcentaje de N en grano. Este está relacionado con el contenido en proteína y por consiguiente, con los parámetros reológicos que determinan la calidad panadera del grano de trigo blando y de las harinas obtenidas destinadas a la industria panadera.

Los objetivos de este trabajo fin de carrera son los siguientes:

Objetivo general:

Evaluar la utilidad del medidor de clorofila SPAD-502® como herramienta para mejorar el ajuste de la fertilización nitrogenada de trigo, en regadío.

Objetivos específicos:

1. Respuesta del cultivo de trigo en regadío a la dosis de fertilizante nitrogenado.
 - 1.1 Influencia de la dosis de nitrógeno sobre el rendimiento.
 - 1.2 Influencia de la dosis de nitrógeno sobre el porcentaje de nitrógeno en el grano
 - 1.3 Influencia de la dosis de nitrógeno sobre la fuerza y la extensibilidad de la masa.
2. En el estado fenológico de aparición de la hoja bandera.
 - 2.1. Determinar la relación de las lecturas SPAD-502®, con el rendimiento.
3. En el estado fenológico de espiga:
 - 3.1. Determinar la relación de las lecturas SPAD-502® con el porcentaje de nitrógeno en el grano, en la cosecha.
 - 3.2. Determinar la relación de las lecturas SPAD-502® con la extensibilidad y la fuerza panadera.

Se ha realizado un ensayo con diferentes dosis de fertilización nitrogenada para cuatro variedades de trigo blando (Berdún, Nogal, Badiel, Osado) en tres campañas. El diseño experimental empleado ha sido de parcela dividida (split-plot): en la parcela principal se han distribuido las diferentes dosis de N aplicadas en cada campaña y en la subparcela, cada una de las variedades de trigo ensayadas.

Para evaluar la utilidad del medidor de clorofila SPAD-502® en la determinación del estado nutricional del cultivo se han realizado mediciones en el estado fenológico de aparición de hoja bandera (Z-37) y de emergencia de la mitad de la espiga (Z-55).

Los rendimientos y el % de N en grano obtenidos para las diferentes dosis de fertilización nitrogenada estuvieron determinados por factores variedad, parcela y campaña. Del mismo modo se observó la existencia de una dosis de N por encima de la cuál no hay incremento del rendimiento. La variedad que ha presentado mayor rendimiento fue Nogal. La variedad que ha presentado menores % de N en grano fue Berdún.

Los parámetros de calidad panadera se han visto afectados por la dosis de N, por la variedad y la campaña. Las variedades que han presentado mayores valores de fuerza panadera fueron Badiel y Nogal. Osado y Berdún han sido las variedades con mayores valores de extensibilidad.

En estado fenológico de hoja bandera no se han obtenido correlaciones entre las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502® y el rendimiento absoluto. Sin embargo, estas correlaciones fueron positivas para el rendimiento relativo. Se han establecido valores del medidor de clorofila SPAD-502® a partir de los cuales se obtendría el 90 % del rendimiento máximo en cada variedad (43 en Badiel, 44 en Berdún, 47 en Nogal y 44 en Osado).

Las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502® en relación al % N presentaron correlaciones positivas en Berdún y no con el resto de variedades. Se ha establecido el valor de 45 del medidor de clorofila a partir de cual se obtendría el 1,92% de N en grano para Berdún, como se establece en normativa. El valor SPAD utilizado en la práctica agraria (54), garantizaría un porcentaje de N en grano superior al mínimo establecido según la normativa para cada variedad.

Los parámetros de calidad panadera estudiados y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502® han presentado bajas correlaciones,

El valor SPAD utilizado en la práctica agraria (54), garantizaría un valor de fuerza panadera superior al mínimo establecido según la normativa para Badiel, Nogal y Osado, en todas las variedades en el caso de la extensibilidad.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.	11
2. ANTECEDENTES.	15
2.1. Importancia del cultivo del trigo blando en Navarra.	17
2.2. Morfología y ciclo vegetativo del trigo.	19
2.2.1. Morfología.	19
2.2.2. Ciclo vegetativo.	19
2.2.2.1. Nascencia.	19
2.2.2.2. Ahijado.	19
2.2.2.3. Encañado.	20
2.2.2.4. Maduración.	20
2.3. Ciclo del nitrógeno.	21
2.4. Fertilización Nitrogenada en trigo.	24
2.5. Métodos de determinación del estado nutricional del cultivo.	26
2.5.1. Análisis foliar.	26
2.5.2. Análisis del jugo de la base del tallo.	26
2.5.3. Índice de nutrición nitrogenada.	27
2.5.4. Medidores de clorofila.	27
2.5.5. Sensores remotos.	29
2.6. Calidad del trigo.	30
2.6.1. Relación de la calidad con la fertilización nitrogenada.	30
2.6.2. Parámetros de calidad del trigo.	31
2.6.3. Norma de calidad del trigo blando. (Real Decreto 1615/2010).	33
3. OBJETIVOS.	35
4. MATERIAL Y MÉTODOS.	39
4.1. Localización del ensayo.	41
4.2. Material vegetal.	42
4.2.1. Berdún.	42
4.2.2. Nogal.	42
4.2.3. Badiel.	43
4.2.4. Osado.	43
4.3. Diseño experimental.	43
4.4. Suelo.	44
4.5. Labores de cultivo.	45
4.6. Toma de datos con el medidor de clorofila SPAD-502®.	46

4.7. Determinación de porcentaje de nitrógeno en grano y parámetros de calidad panadera.....	47
4.8. Análisis estadístico.....	47
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
5.1. Relación entre el rendimiento y la dosis de fertilización nitrogenada.....	51
5.2. Lecturas en el estado fenológico de aparición de hoja bandera.....	53
5.2.1. Relación entre el rendimiento absoluto y el valor del medidor de clorofila SPAD-502®.....	53
5.2.2. Relación entre el rendimiento relativo y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502®.....	54
5.3. Lecturas en el estado fenológico de espiga.....	56
5.3.1 Relación entre la dosis de fertilización nitrogenada y el porcentaje de N en grano.....	56
5.3.2. Relación entre el % de N en grano y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502®.....	59
5.3.3. Relación entre la dosis de fertilización nitrogenada y la Fuerza panadera.....	61
5.3.4. Relación entre la dosis de fertilización nitrogenada y la Extensibilidad.....	63
5.3.5. Relación entre la Fuerza panadera y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502®.....	65
5.3.6. Relación entre la Extensibilidad y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502®.....	67
6. CONCLUSIONES.....	69
7. BIBLIOGRAFIA.....	73
8. ANEXOS.....	79

Índice de Tablas

Tabla 1: Balance de la producción de trigo blando en Navarra.....	17
Tabla 2: Campañas, localidades de realización del ensayo, dosis de N utilizadas y tipo de fertilizante nitrogenado.....	44
Tabla 3: Características físico-químicas del suelo en cada parcela.....	44
Tabla 4: Fechas de siembra, aplicación de cobertera de N y cosecha.....	45
Tabla 5: Toma de lecturas con medidor de clorofila SPAD en estados fenológicos Z37 y Z55 en cada variedad y campaña.....	47
Tabla 6: Rendimiento (kg/ha) y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2009-2010.	51
Tabla 7: Rendimiento (kg/ha) y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2010-2011.	52
Tabla 8: Rendimiento (kg/ha) y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2011-2012.	52
Tabla 9: Relación Rendimiento absoluto (kg/ha) vs SPAD-502® en las variedades ensayadas en estado fenológico Z-37.....	53
Tabla 10: Número de observaciones (n) y coeficiente de determinación (R^2) para estudiar la relación entre el rendimiento relativo (RR) y el valor del medidor de clorofila SPAD-502® para 4 cultivares.....	55
Tabla 11: Valores críticos de SPAD obtenidos en cada variedad, datos fuera de tipo y % de error calculado.....	56
Tabla 12: Porcentaje de N en grano y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2009-2010.....	57
Tabla 13: Porcentaje de N en grano y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2010-2011.....	57
Tabla 14: Porcentaje de N en grano y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2011-2012.....	58
Tabla 15: Número de observaciones (n) y coeficiente de determinación (R^2) para estudiar la relación entre el porcentaje N en grano y el valor del medidor de clorofila SPAD en estado fenológico Z-55 para 4 cultivares de trigo.....	59
Tabla 16: Fuerza panadera y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2009-2010.....	61

Tabla 17: Fuerza panadera y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2010-2011.....	62
Tabla 18: Fuerza panadera y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2011-2012.....	62
Tabla 19: Extensibilidad y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2009-2010.....	63
Tabla 20: Extensibilidad y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2010-2011.....	64
Tabla 21: Extensibilidad y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2011-2012.....	64
Tabla 22: Número de observaciones (n) y coeficiente de determinación (R^2) para estudiar la relación entre la fuerza panadera (W) y el valor del medidor de clorofila SPAD para 4 cultivares de trigo.....	65
Tabla 23: Número de observaciones (n) y coeficiente de determinación (R^2) para estudiar la relación entre la extensibilidad (L) y el valor del medidor de clorofila SPAD para 4 cultivares de trigo.....	67

Índice de Figuras

Figura 1: Evolución de la superficie cultivada (ha) de trigo blando en regadío y en secano en Navarra.....	18
Figura 2: Evolución del rendimiento de trigo blando en regadío y en secano en Navarra.....	18
Figura 3: Alveograma.....	32
Figura 4. Localización de los ensayos. Comarcas agrarias en Navarra.....	41
Figura 5: Medidor de clorofila SPAD-502®.....	46
Figura 6: Relación entre rendimiento absoluto medio y lecturas de SPAD-502® en estado fenológico Z-37 para cada variedad.....	54
Figura 7: Relación entre el Rendimiento relativo y los valores del medidor de clorofila SPAD-502® para el estado fonológico Z-37 en las cuatro variedades...	55
Figura 8: Relación entre porcentaje de N en grano y lecturas del medidor de clorofila SPAD para las variedades estudiadas en el estado fenológico Z-55.....	60
Figura 9: Relación entre Fuerza panadera y lecturas del medidor de clorofila SPAD en Z-55 para cuatro variedades de trigo.....	66
Figura 10: Relación entre Extensibilidad y lecturas del medidor de clorofila SPAD en Z-55 para cuatro variedades de trigo.....	68

Abreviaturas

AP	Agricultura de Precisión
FBN	Fijación Biológica del Nitrógeno
GPS	Sistemas de Posicionamiento Global
GS	Glutamina Sintetasa
INN	Índice de nutrición nitrogenada
L	Extensibilidad
MO	Materia Orgánica
n	Número de observaciones
N	Nitrógeno
N ₂	Nitrógeno molecular
NH ₄ ⁺	Amonio
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
NOx	Óxidos de Nitrógeno
P	Tenacidad
P/L	Relación tenacidad y extensibilidad
R ²	Coefficiente de determinación
RR	Rendimiento Relativo
SIG	Sistemas de Información Geográfica
Trat	Tratamientos
W	Fuerza panadera

1. INTRODUCCIÓN

El rendimiento y calidad en trigo están fuertemente influenciados tanto por factores bióticos como abióticos presentes durante el desarrollo del cultivo. La fertilización nitrogenada es un factor de máxima importancia, que influye de forma determinante en el rendimiento del cultivo. El nitrógeno es un componente importante de las estructuras de las plantas (enzimas, clorofila, reservas proteicas) por lo que deficiencias de este nutriente durante el desarrollo del cultivo pueden provocar descensos en el rendimiento y en la calidad de grano.

El aumento de la fertilización nitrogenada produce un incremento de la absorción de N por parte del cultivo lo que se traduce en un aumento del rendimiento, en el caso de ser el N el factor limitante. Inicialmente, el rendimiento muestra un incremento lineal al aumentar la dosis de N. Se alcanza una dosis umbral a partir de la cual el rendimiento se estabiliza o tiende a descender debido al debilitamiento de órganos vegetativos y al aumento de la susceptibilidad del cultivo a encamado y ataques de parásitos (Borghi, 1999). Aplicaciones excesivas de N pueden tener consecuencias ambientales negativas debido al aumento del riesgo de lixiviación de nitratos.

Es necesario ajustar la dosis de nitrógeno disponible para la planta y por tanto la dosis de fertilización nitrogenada que se va aplicar al cultivo y en el momento adecuado. En este sentido, determinar el estado nutricional de un cultivo de trigo, resulta primordial para ajustar la dosis de fertilización nitrogenada con el fin de obtener rendimientos en cosecha próximos al máximo potencial y optimizar los parámetros de calidad del grano para su utilización en industria panadera.

Los métodos tradicionales de estimación del estado nutricional del trigo conllevan destrucción de las muestras tomadas de la planta y la obtención de resultados se prolonga en el tiempo, al requerir métodos analíticos en laboratorio.

El estado nutricional del cultivo está relacionado con el contenido en clorofilas en la hoja y este a su vez, con la concentración de N en ella, por lo que resulta útil su determinación con métodos que proporcionen resultados inmediatos y no destructivos como los medidores de clorofila SPAD-502®. Calculan un valor numérico y adimensional que es proporcional al contenido de clorofila en la hoja. Puede ser medido en cualquier momento para estimar el estatus nitrogenado de la planta.

Estos instrumentos permiten valorar el estado nutricional del cultivo en N de forma que posibilita decidir si conviene o no un aporte tardío, tanto para corregir la deficiencia de N del cultivo y mejorar su producción como para incrementar el contenido en proteína del grano. Evitan pues, aportes de fertilización nitrogenada innecesarios si el estado nutricional del cultivo es adecuado. Por ello, han sido utilizados en fertilización nitrogenada para incrementar el rendimiento (Vidal et al., 1999; Denuit et al., 2002; Darwich, 2005) y la calidad (López- Bellido et al., 2005).

Los valores obtenidos con los medidores de clorofilas en diferentes estados fenológicos del cultivo pueden ser útiles para estimar además, el porcentaje de N en grano. Este está relacionado con el contenido en proteína y por consiguiente, con los parámetros reológicos que determinan la calidad panadera del grano de trigo blando y de las harinas obtenidas destinadas a la industria panadera. En este sentido, los

medidores de clorofila podrían ser útiles para estimar valores de parámetros reológicos que determinan la calidad panadera.

Se trata pues, de evaluar la utilidad del medidor de clorofilas (SPAD-502®) en los programas de fertilización nitrogenada de trigo en regadío.

2. ANTECEDENTES

2.1. Importancia del cultivo del trigo blando en Navarra.

El cultivo de trigo se encuentra ampliamente extendido siendo la principal área de producción la zona templada del hemisferio norte. Su importancia radica a que, junto con el arroz y el maíz, se destina a la alimentación básica de gran parte de la población humana y también a la alimentación animal. Además, sigue siendo el cereal con mayor volumen de comercio internacional.

En España en lo que se refiera a trigo blando, la media en el último quinquenio en superficie cultivada es de 1.441.500 ha. Se han alcanzado 5.019.900 Tm y una media de rendimiento de 3.500 kg/ha (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente). En la campaña 2012 el trigo blando y semiduro supera la superficie de 1.800.000 ha, un 13,5% más que las 1.600.000 ha de 2011.

En Navarra, el cultivo de trigo blando representa un elevado porcentaje con respecto al trigo duro, que supone menos del 4% del total. El destino fundamental del trigo blando es la obtención de harinas para la panificación. Se muestra en la Tabla 1 el balance de la producción en Navarra:

Tabla 1: Balance de la producción de trigo blando en Navarra.

Fuente: Departamento de desarrollo Rural, Medioambiente y Administración Local. Negociado de Estadística y Estudios Agrarios.*Avance 2012

Campaña	Superficie Has.		Producción Tm.		Rendimiento Kg/ ha	
	secano	regadío	secano	regadío	secano	regadío
2002-2003	51080	7013	231320	31300	4529	4498
2003-2004	50027	5971	217762	28123	4353	4710
2004-2005	50715	8237	269900	37700	5322	4572
2005-2006	46828	8346	233240	42431	4981	5084
2006-2007	46091	9637	186454	45360	4045	4707
2007-2008	57679	11980	231121	60333	4007	5036
2008-2009	47990	9444	191978	47131	4000	4991
2009-2010	57458	13145	263859	70581	4592	5369
2010-2011	61364	15715	252259	84373	4111	5369
2011-2012*	61032	13572	261933	66197	4292	4877

El cultivo de trigo blando muestra oscilaciones en cuanto a superficie cultivada en secano (Figura 1) desde 2002 a 2012 pero con un incremento global cercano al 20% entre estas campañas. En regadío, este incremento ha sido todavía mucho más acusado siendo del 124% (se ha pasado de 7013 ha en la campaña 2002-2003 a 15715 ha en la 2010-2011). Este aumento, que se produce fundamentalmente a partir de la campaña 2004-2005, es debido a la puesta en marcha del Canal de Navarra que hace posible nuevas zonas de regadío, ascendiendo a 116.487 ha el total de zonas regables. Sin embargo, en la campaña 2011-2012 se rompe esta tendencia alcista.

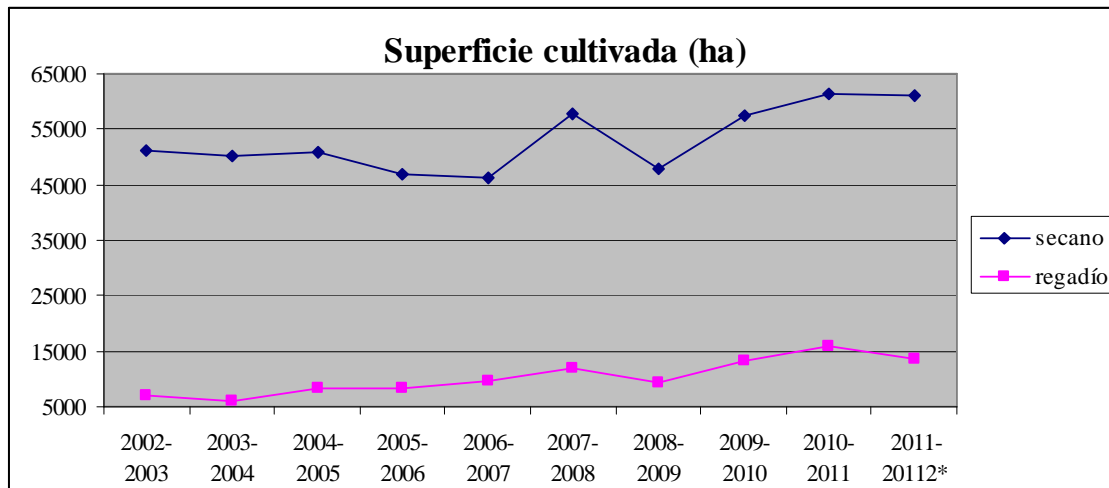


Figura 1: Evolución de la superficie cultivada (ha) de trigo blando en regadío y en secano en Navarra.

En cuanto al rendimiento (Figura 2), se ha observado una clara tendencia al alza en el trigo blando en regadío, tónica que se ha visto afectada en la última campaña debido posiblemente a condiciones climatológicas o enfermedades que han podido afectar al cultivo. En cuanto al trigo blando en secano se han producido oscilaciones que atienden a variaciones en el régimen de lluvias ya que se han producido sequías que afectan al rendimiento global del cultivo. En la última campaña (2011-2012), se ha producido un descenso en la superficie cultivada de un 4%. En cuanto a los rendimientos, estos han sido extremos, obteniéndose valores históricos en las zonas más húmedas y en las zonas del centro y sur de la Comunidad de Navarra han tenido unas mermas considerables, incluso ha habido zonas donde no se ha recogido, debido a la sequía invernal. Sin embargo, el rendimiento medio alcanzado se sitúa en los valores medios obtenidos en otras campañas rondando los 4.500 en kg/ ha.

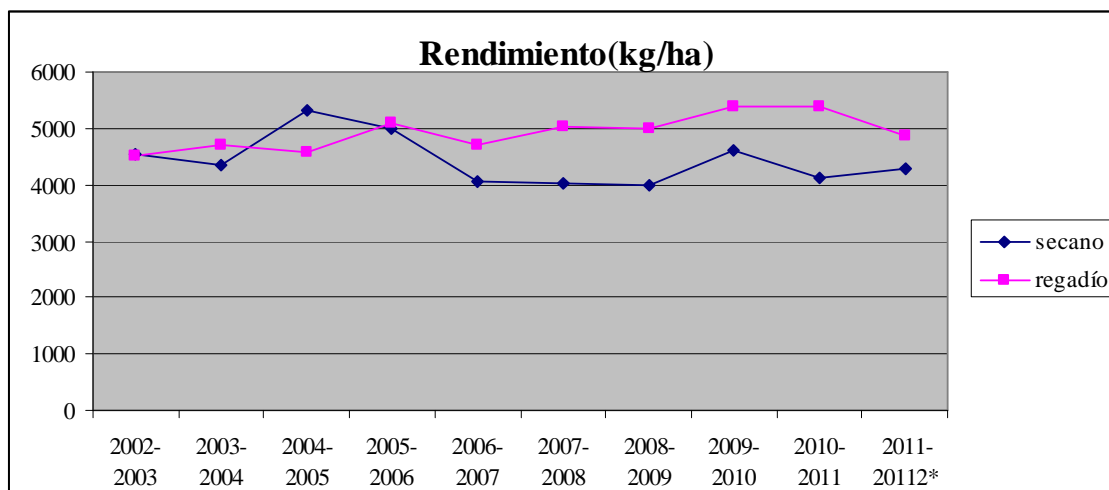


Figura 2: Evolución del rendimiento de trigo blando (kg/ha) en regadío y en secano en Navarra.

2.2. Morfología y ciclo vegetativo del trigo.

2.2.1. Morfología.

El trigo (*Triticum aestivum*, L.) es una planta anual monocotiledónea de la familia de las Poaceae (gramíneas) a la que también pertenecen otros cereales de interés humano como el arroz, maíz, la avena y la cebada.

El trigo posee una raíz fasciculada con numerosas ramificaciones. El tallo es una caña hueca excepto en los nudos, donde permanece macizo. Las hojas son cintiformes, paralelinervias y terminadas en punta con vaina, lígula y aurículas bien definidas. La inflorescencia es una espiga compuesta por un raquis sobre el que se disponen de 20 a 30 espiguillas en forma alterna llevando cada una varias flores rodeadas por glumas y glumillas. Los granos son carióspsides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados.

En cuanto a los requerimientos edafoclimáticos necesarios para el desarrollo adecuado del trigo destacan: una temperatura óptima de crecimiento en torno a los 25°C con temperaturas máximas y mínimas de 30-32°C, y 3-4°C respectivamente (Briggle, 1980). La humedad relativa entre 40 y 70%; desde el espigado hasta la cosecha, época de mayores requerimientos, aunque la humedad relativa óptima ronda el 50-60%, siendo necesario un clima seco para la maduración. En años secos el trigo puede desarrollarse bien con 300- 400 mm de precipitación. Los mejores suelos para su crecimiento suelen ser neutros o algo alcalinos además de arcilloso-arenosos para mantener la adecuada proporción de agua (Ruiz, 1981).

2.2.2. Ciclo vegetativo.

Las escalas que se utilizan para medir el desarrollo de la planta se clasifican en dos categorías según el tipo de observación utilizada. La escala de Jonard que se basa en el estado de desarrollo del ápice terminal requiere uso de lupa binocular por lo que no puede utilizarse en campo. Otras escalas como la de Zadoks-Chang-Konzak (Zadoks et al., 1974) tienen en cuenta las características morfológicas de la planta por lo que pueden utilizarse en campo. En estas se establecen cuatro fases importantes en el desarrollo del trigo: nascencia y ahijado (periodo vegetativo), encañado (periodo reproductivo) y maduración.

2.2.2.1. Nascencia

Es el periodo comprendido entre la siembra y el ahijado. La germinación es hipogea. Se produce la imbibición de la semilla y aumenta de forma importante su actividad respiratoria teniendo como consecuencia la movilización de las reservas del endospermo y la división celular.

Se forman las raíces primarias dejando de utilizar las reservas de las semillas al obtener los nutrientes y el agua del suelo. Emergen posteriormente las hojas basales.

2.2.2.2. Ahijado.

Esta fase se caracteriza por la producción de vástagos a partir de yemas del nudo de ahijamiento situado a uno o dos centímetros bajo el suelo. Se generan pues plantas secundarias a partir de una sola semilla. De este nudo de ahijamiento se produce también la emisión de raíces secundarias.

El poder de ahijamiento es un carácter varietal sobretodo, pero además influye el abonado nitrogenado, la fecha de siembra, la densidad de siembra y la temperatura que condiciona la duración del periodo de ahijamiento. La aparición de un mayor número de hijuelos no se traduce en un aumento de la producción ya que no todos ellos llegan a portar una espiga al final del ciclo, aunque contribuyen en el suministro de nutrientes al tallo principal.

2.2.2.3. Encañado.

El trigo para pasar al periodo reproductivo requiere vernalización, dependiendo las horas-frío requeridas, principalmente de la variedad (López-Bellido, 1991).

Tiene lugar la disminución del ahijamiento y el inicio de elongación de entrenudos que tiene como consecuencia el enderezamiento de los tallos tendiendo hacia la verticalidad. Al mismo tiempo que el tallo se alarga, la yema terminal pasa de simple yema vegetativa a ser el esbozo de inflorescencia en la que se van a diferenciar progresivamente todas las partes y órganos de la futura espiga. En este proceso el ápice reproductivo está protegido por las vainas de las hojas que restan por aparecer. Cuando esta protección queda reducida a la vaina de la última hoja (hoja bandera), se produce un engrosamiento de la inflorescencia y la vaina se hincha, alcanzándose el estado de “zurrón”. Este momento es de considerable interés para la producción de grano ya que simultáneamente tiene lugar la meiosis (Pujol, 1998). Posteriormente se produce la emergencia de la espiga, se detiene el crecimiento del tallo y se inicia la floración.

Durante este periodo las necesidades de N son máximas y también la síntesis de materia seca (Delogu et al., 1998). La disponibilidad de N en este momento debe ser suficiente ya que un déficit de N podría provocar una disminución en el número de tallos y en el de flores fértiles (Miralles y Slafer, 1999). El periodo reproductivo concluye la finalizar la floración.

2.2.2.4. Maduración.

Esta etapa se inicia con un breve periodo de latencia anterior al aumento de materia seca en el grano. La mayor duración de este periodo está relacionada con un mayor número de granos formados en cada inflorescencia especialmente cuando las temperaturas son bajas (López-Bellido, 1991).

El grano se forma en tres etapas. Se inicia con una multiplicación celular activa. Se incrementa el volumen y peso en agua y en materia seca hasta alcanzar su tamaño definitivo. El grano se encuentra en estado “lechoso”. Posteriormente se acumulan en el grano las reservas hidrocarbonadas y proteicas, manteniendo su peso en agua constante. Los compuestos almacenados provienen de los órganos de la propia planta que son traslocados hasta los granos. Cuando concluye la migración de reservas el

contenido en agua del grano supone el 40-50% en peso fresco. El grano adquiere el estado “pastoso”. Por último, tiene lugar la etapa de desecación donde se verifica la pérdida de agua del grano pasando al estado vítreo.

La velocidad de crecimiento aumenta con la temperatura considerándose óptima para el llenado del grano entre 20-25°C. Si sobrevienen vientos secos o calor excesivo el grano de trigo se “asura”, es decir, madura precipitadamente y no se acumulan en la semilla las sustancias de reserva necesarias para adquirir un adecuado grosor del grano.

Cuanto más aumenta la temperatura, menos dura este periodo y menor es el peso del grano (López-Bellido, 1991).

2.3. Ciclo del nitrógeno.

El nitrógeno forma parte de las proteínas y de otras moléculas orgánicas que constituyen los seres vivos y entre ellos las plantas (aminoácidos, ácidos nucleicos, aminas, amidas, nucleoproteínas, clorofilas, etc.). Es uno de los elementos más importantes en el manejo de los cultivos ya que es el nutriente que limita la producción de muchos de ellos pues sus necesidades suelen ser altas. No produce su pleno efecto si cada uno de los elementos principales como fósforo y potasio, no están presentes en cantidades suficientes. La interacción entre el nitrógeno y el potasio es seguramente la más importante. Elevadas dosis de nitrógeno en ausencia de una nutrición potásica suficiente hace a los cereales sensibles a las enfermedades y accidentes y limita los rendimientos, disminuyendo la calidad y el peso específico del grano.

El contenido en N del suelo es variable siendo valores normales en la capa arable del 0,2% al 0,7%. Estos tienden a aumentar al disminuir la temperatura del suelo y al aumentar las precipitaciones atmosféricas además, de disminuir con la profundidad. El N es generalmente absorbido por las raíces de la plantas en forma de NO_3^- (nitrato) y NH_4^+ (amonio) (Maldonado, 2000), siendo el primero más abundante en el suelo.

El nitrógeno está presente en el suelo en tres formas:

- formando parte de compuestos orgánicos de material vegetal, organismos del suelo y humus
- como N amoniacal ligado a las arcillas minerales difícilmente extraíble
- como N mineral en disolución en forma mayoritaria de amonio y nitrato.

El 95% del N del suelo está en forma orgánica y, por tanto, no disponible para las plantas.

El nitrógeno en el suelo está sujeto a un conjunto de transformaciones y procesos de transporte que se denomina ciclo del nitrógeno. Las principales entradas de N al sistema suelo-planta son las aportaciones por lluvia, las excretas animales, la fijación biológica del nitrógeno y la fertilización nitrogenada. Las principales salidas de N del suelo son la extracción por parte de la planta y las pérdidas por volatilización de amoníaco, escorrentía, lixiviación de nitratos y en forma gaseosa por nitrificación y/o desnitrificación.

Los principales procesos del ciclo del nitrógeno en los suelos se detallan a continuación.

Absorción de N por la planta

La absorción de N por la planta es una de las partes más importantes del ciclo del N en los suelos agrícolas. Las plantas pueden utilizar tanto la forma nítrica como amoniacal para su nutrición. El N absorbido por las raíces de las plantas sufre diferentes transformaciones bioquímicas y es transportado por el xilema a partes superiores de la planta en forma de nitratos o aminoácidos (Maldonado, 2000)

Extracción por la cosecha

Del nitrógeno absorbido por la planta, una parte vuelve al suelo después de la cosecha en forma de residuos vegetales (raíces, tallos y hojas) y puede ser aprovechado por los cultivos siguientes; otra parte se extrae con la cosecha de órganos aprovechables del cultivo.

Mineralización e inmovilización

La mineralización consiste en la transformación del nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral (NH_4^+ , NO_3^-) por la acción de los microorganismos del suelo que descomponen la materia orgánica. Se produce al mismo tiempo que otros procesos de inmovilización llevados a cabo por microorganismos que toman el N inorgánico del suelo como fuente de N para sintetizar moléculas nitrogenadas propias. El balance entre ellos, denominado mineralización neta, determina la cantidad de N mineral que el suelo pone a disposición de las plantas. Depende de muchos factores, como el contenido en materia orgánica, la humedad y la temperatura. La mineralización puede llegar a ser un factor importante dentro del balance de N, por lo que habría que tenerla en cuenta a la hora de estimar las necesidades del cultivo.

Este proceso se lleva a cabo en diferentes fases: aminización, amonificación y nitrificación.

Durante la aminización se produce la degradación de las proteínas de la materia orgánica en descomposición por acción enzimática originando aminoácidos y aminos. Estos a su vez, son utilizados por otros microorganismos que producirán compuestos amoniacales en la amonificación. En la solución del suelo el amonio y el amoniaco se encuentran en equilibrio que se desplaza a amoniaco si se produce un aumento de pH. Este amoniaco puede difundirse a la atmósfera por volatilización.

La nitrificación es la última fase del proceso de mineralización. El amonio (NH_4^+) producido en la fase anterior se transforma primero en nitrito (NO_2^-), y éste en nitrato (NO_3^-) mediante la acción de las bacterias aerobias del suelo (*Nitrosomona* y *Nitrobacter*).

En condiciones adecuadas, la nitrificación puede transformar del orden de 10-70 Kg. N/ha y día. Depende de varios factores como la cantidad de amonio en el suelo, el pH, la población de microorganismos, aireación, humedad y temperatura.

Desnitrificación

La desnitrificación es, un proceso anaeróbico mediado por una serie de bacterias de suelo (género *Bacillus* y *Pseudomona*) en el que el nitrato se reduce formando

compuestos gaseosos nitrogenados finales (NO , N_2O y N_2) que son liberados a la atmósfera. Estos procesos provocan pérdida de la eficiencia de los fertilizantes aplicados y de una cantidad importante del N del suelo. Además, las emisiones gaseosas de NO_x tienen un fuerte impacto medioambiental al ser considerados como gases de efecto invernadero (Jenkinson, 2001). Estos gases pueden también formarse en los procesos de nitrificación como intermediarios.

Los principales factores que controlan la desnitrificación biológica son la presencia de oxígeno, la disponibilidad de carbono y la de nitrato y otros óxidos de nitrógeno (Tiedje, 1988). Las pérdidas por desnitrificación pueden ser relevantes (Lasa et al., 1997) cuando se producen aplicaciones de materiales orgánicos frescos al suelo que supongan una fuente importante de C fácilmente disponible.

Volatilización

El NH_4^+ puede encontrarse en la solución del suelo en equilibrio con NH_3 . Este último es susceptible de pasar a la atmósfera en forma gaseosa dependiendo del pH de la solución del suelo y la concentración de NH_4^+ , entre otros factores. La volatilización de NH_3 puede ser relevante en suelos calcáreos con pH superior a 7, en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico o tras la aportación de materiales orgánicos que no se incorporan rápidamente. El NH_3 volatilizado puede proceder del NH_4^+ generado en el suelo por aporte de fertilizante nitrogenado. En este caso, la cantidad volatilizada puede ser muy variable en función del pH del suelo, de su humedad, del tipo de fertilizante y de las condiciones climatológicas.

Fijación biológica

El nitrógeno se encuentra de forma mayoritaria en la atmósfera (78%) como nitrógeno molecular (N_2). Es en general, un gas muy inerte pudiendo pasar a formas aprovechables por las plantas (amonio o nitrato) a través de los procesos de fijación de N_2 . Uno de estos procesos es la fijación biológica del N (FBN) llevada a cabo por organismos simbióticos y no simbióticos presentes en el suelo, que fijan el N_2 y lo incorporan al sistema suelo-planta. Desde el punto de vista agrícola, el proceso de FBN más importante es la fijación simbiótica llevada a cabo por las leguminosas en asociación con microorganismos fijadores (géneros *Rhizobia*, *Bradyrhizobia* principalmente). La cantidad de N que pueden incorporar al sistema, es muy variable (50-600 kg N ha⁻¹) y depende fundamentalmente, del cultivo y su duración, contenido de N en el suelo, temperatura, luz y humedad (Halvelka et al., 1982). El N_2 atmosférico puede incorporarse al sistema de cultivo como N mineral por medio de fertilizantes nitrogenados obtenidos en los procesos industriales para los que se utiliza como materia prima.

Aportaciones por lluvia

La lluvia contiene cantidades variables de nitrógeno en forma de amonio, nitrato y óxidos de nitrógeno. Este aporte oscila entre 5 y 15 Kg. de N/ha/año. Es por tanto, para los sistemas agrícolas, pequeño en comparación con el de los fertilizantes.

Arrastre por escorrentía

La escorrentía de agua en los suelos agrícolas es el flujo del agua sobre la superficie del suelo, de modo que no se infiltra, sino que fluye hacia terrenos más bajos o cursos superficiales de agua. Se produce como consecuencia de lluvias o riegos excesivos y puede arrastrar cantidades variables de nitrógeno. En general, estas pérdidas de nitrógeno del suelo son pequeñas, excepto cuando la escorrentía se produce poco después de un fuerte abonado nitrogenado.

Lixiviación

El NO_3^- que no ha sido absorbido por el cultivo, permanece en la solución acuosa. Es escasamente retenido por los coloides del suelo y puede ser transportado como soluto en la fase acuosa del suelo y arrastrado con el drenaje hasta capas profundas por debajo de la zona radicular. Se considera, una pérdida de N para el cultivo. Este proceso denominado lixiviación produce la contaminación de las aguas subterráneas por nitrato, ya que puede descender hacia los acuíferos sin apenas ninguna transformación química o biológica. La aplicación de cantidades de fertilizante nitrogenado superiores a la dosis óptima hace incrementar notablemente el nitrato lixiviado ya que se rebasa la capacidad del cultivo de aprovechar el N aplicado. (Chaney, 1990; Richards et al., 1996)

2.4. Fertilización Nitrogenada en trigo.

La fertilización nitrogenada debe suplementar al nitrógeno mineral disponible generado a partir de la materia orgánica en el suelo. Determinar la dosis de fertilizante y el momento de aplicación son claves para satisfacer la demanda de los cultivos. Se debe tener en cuenta las reservas del suelo, el clima y los residuos del cultivo anterior y el potencial de rendimiento del cultivo, y el manejo del riego. Algunos de estos factores son variables de una campaña a otra, aún para la misma parcela.

El aumento de la fertilización nitrogenada produce un incremento de la absorción de N por parte del cultivo lo que se traduce en un aumento del rendimiento, en el caso de ser el N el factor limitante. Inicialmente, el rendimiento muestra un incremento lineal al aumentar la dosis de N. Se alcanza una dosis umbral a partir de la cual el rendimiento se estabiliza o tiende a descender debido al debilitamiento de órganos vegetativos y al aumento de la susceptibilidad del cultivo a encamado y ataques de parásitos (Borghini, 1999).

El aporte de la fertilización nitrogenada puede no producir un aumento del rendimiento si el N no es el factor limitante. En suelos con elevada cantidad de N disponible que no requieran aporte externo para asegurar las necesidades del cultivo no se produce un aumento en este sentido.

Pueden darse casos en los que siendo el N el factor limitante no se produce un aumento del rendimiento debido a una baja eficiencia del fertilizante. Existen diversos factores que pueden modificar la eficiencia del fertilizante como el tipo de suelo, la

rotación de cultivos o la aportación de N mineralizado por el suelo, siendo lo más importante que el momento del aporte coincida con los momentos de necesidad del cultivo.

La dosis de fertilizante nitrogenado debe ser la adecuada y su aporte debe garantizar su máxima eficiencia. Para ello se debe ajustar la dosis a las necesidades de la planta y en los momentos que estas necesidades se producen (fraccionamiento). El rendimiento no solo depende la dosis del fertilizante de nitrógeno sino que además, se ve influenciado por su el fraccionamiento.

Para el trigo, Alley et al. (1999) sitúan los momentos de mayor absorción de N en los estados fenológicos Z25 y de Z30 a Z58 según la escala de Zadoks (Zadoks et al., 1974). Es decir, en torno al ahijado y desde inicio de encañado hasta antes de antesis las extracciones de N se corresponden con el 70% y a partir del espigado las extracciones de N rondan un 20%. Addiscott (1991) y Gate (1995) estiman que la necesidad de N del trigo en nascencia, normalmente inferior a 10 kg/ ha, puede ser suplida por la propia mineralización del suelo. Desde la siembra hasta ahijamiento, las extracciones de N en trigo representan un 10% del total.

En el inicio de ahijado, Z20, la dosis del aporte debe corresponder a la biomasa que se obtendrá en el inicio de encañado, evitando la aparición de hijuelos no productivos y el consumo de lujo. En la salida de invierno las necesidades de N son elevadas (Gate, 1995; Guerrero, 1999) por lo que es necesario un aporte de nitrógeno. En este periodo se debe calcular el N a aportar ya que en este estado fenológico se deciden componentes de rendimiento importantes. Además, el peligro de lixiviación por lluvias puede llegar a ser importante (Delogu et al., 1998; Borghi, 1999). Gate, (1995) y Destain et al. (2002) proponen un tercer aporte nitrogenado en hoja bandera. El aporte en este estado fenológico, enriquece las partes vegetativas del trigo con N que luego se trasladará al grano, aumentando su contenido de proteína.

El fraccionamiento del fertilizante permite ajustar mejor la dosis a las necesidades teniendo presente que las condiciones climáticas y las del suelo pueden tener una influencia mayor en el rendimiento que la dosis de fertilizante y su fraccionamiento (Alcoz et al., 1993).

Se han obtenido incrementos del rendimiento al aplicar el fertilizante (o una parte de él), a partir de encañado, en lugar de realizar aplicaciones anteriores (Alcoz et al., 1993; Garrido-Lestache et al., 2004).

Otro de los factores que influye en la eficiencia del N es el tipo de fertilizante empleado. El comportamiento de las formas químicas del nitrógeno en los diferentes fertilizantes depende tanto de las condiciones climáticas como de las propiedades del suelo.

Los fertilizantes inorgánicos con solo N nítrico presentan una buena eficiencia ya que ponen esta forma de N a disposición de la planta de forma inmediata por lo que deben usarse en los momentos de mayor absorción por parte de los cultivos. Hay que tener en cuenta, sin embargo, las posibles pérdidas por escorrentía y lixiviación cuando existe excedente hídrico.

Los fertilizantes amoniacales que contiene N en forma amoniacal son retenidos por los coloides del suelo y por tanto no lixiviables. Sin embargo, requieren un proceso de nitrificación por parte de la población microbiana del suelo para pasar a forma nítrica más comúnmente absorbida. Esto puede producir una acción más lenta ya que la disponibilidad no es inmediata. El proceso se ve favorecido por determinadas condiciones (temperatura, aireación y humedad del suelo adecuada).

Existen fertilizantes químicos con nitrógeno nítrico y amoniacal, con proporciones variables de estos que permiten su utilización en diferentes momentos según el momento en que se encuentra el cultivo y las condiciones de la parcela.

Los fertilizantes químicos con nitrógeno en forma ureica, deben ser transformados, por la enzima ureasa en nitrógeno amoniacal y posteriormente en nitrógeno nítrico por procesos de nitrificación llevados a cabo por los microorganismos del suelo. Las formas ureicas del N por tanto, deben ser transformadas en nitratos para ser asimilados por la planta. Esto provoca un retraso en la disponibilidad del N lo que puede presentar una ventaja al permitir un mejor ajuste a las necesidades mantenidas del cultivo. El producto más representativo de este tipo es la urea con una riqueza de N = 46%. Es el fertilizante químico comercial sólido de mayor riqueza en nitrógeno. Se debe tener en cuenta además, que la urea es muy soluble en agua y por tanto presenta riesgo de lixiviación.

2.5. Métodos de determinación del estado nutricional del cultivo.

La dosis de fertilizante nitrogenado para la cual obtener el máximo rendimiento potencial no es fácil de determinar ya que esta es muy variable según la campaña y el historial de la parcela, aún para un mismo cultivo y variedad. Existen diferentes métodos que permiten conocer el estado nutricional del cultivo y realizar, en consecuencia, los pertinentes ajustes.

2.5.1. Análisis foliar.

Entre las utilidades del análisis de tejidos, Reuter y Robinson (1986) enumeran el diagnóstico, la predicción de la deficiencia de nutrientes, la determinación de las cantidades de los minerales clave retirados por los cultivos con el fin de reemplazarlos, etc. El análisis foliar constituye una metodología para evaluar la nutrición del cultivo ya que integra todos los factores de suelo, ambiente y manejo. Puede ser considerada tanto para la corrección inmediata de deficiencias como también para evaluar los resultados del manejo de la nutrición.

2.5.2. Análisis del jugo de la base del tallo.

Por medio del análisis del jugo de la base del tallo se pueden deducir tanto el estado nutricional de la planta como la disponibilidad de nitrato en el suelo (Laurent et al., 1996). El jugo de la base del tallo es un extracto acuoso de varios tejidos del mismo. La medida del contenido de nitrato en la base del tallo representa el stock de iones nitrato presentes en la planta y no el flujo instantáneo de absorción. Por lo tanto esta

medida es útil para diagnosticar la aparición de una deficiencia de nitrógeno en la planta, aunque no es de gran sensibilidad y no se puede utilizar sino para distinguir a grosso modo el déficit de N. En este sentido Laurent et al. (1996) indican que el indicador mejor adaptado para medir la carencia de N es el índice de nutrición nitrogenada (INN).

2.5.3. Índice de nutrición nitrogenada.

El Índice de Nutrición Nitrogenada (INN) representa el estado nutricional nitrogenado de un cultivo, mediante la relación entre el %N de la planta y el %N óptimo (Lemaire y Gastal, 1997). El N óptimo se obtiene al determinar la concentración de N en la materia seca, para diferentes momentos del ciclo del cultivo. El resultado es la llamada curva de dilución de N, obtenida para trigo por Justes et al. (1994) y posteriormente validada para otros cereales de invierno (Justes et al., 1997). El INN se puede utilizar como sistema de diagnosis en un momento preciso, pero es de difícil aplicación práctica debido a que hay que cortar una superficie de cultivo, secarlo, molerlo y determinar su porcentaje de N.

2.5.4. Medidores de clorofila.

El contenido de clorofila en la hoja está estrechamente relacionado con la concentración de N ya que este es necesario para la síntesis de clorofila. Determina el nivel de verdor de las hojas y la eficiencia de los procesos fotosintéticos que se realizan en ellas. Así, plantas adecuadamente fertilizadas con nitrógeno presentan un color más verde en sus hojas, en comparación con aquellas sometidas a una fertilización deficiente. De hecho, la deficiencia de nitrógeno se manifiesta al comienzo, con un amarillamiento de las hojas más viejas (hojas basales), síntoma que puede llegar a ser masivo. Dada esta base fisiológica es posible deducir que, al medir el contenido de clorofila, se puede estimar el contenido de nitrógeno en la planta y así conocer el estado nutricional del cultivo. Este hecho nos permitiría mejorar este estado nutricional en el caso de que fuese deficiente (Villar et al., 2003).

Una herramienta alternativa a otros métodos de determinación del estado nutricional nitrogenado de un cultivo es el uso de los medidores de clorofila que permiten obtener lecturas correspondientes al contenido relativo de clorofila en las hojas. Los medidores de clorofila pueden estimar de forma indirecta el estado nutricional nitrogenado de un cultivo. Los más usados son el N-Tester® (Yara) y el SPAD-502® (Minolta) ambos con un funcionamiento similar. Realizan lecturas instantáneas y no destructivas en las hojas del cultivo, de forma que el contenido de clorofila puede ser medido en cualquier momento para estimar el estatus de N en la planta. Las muestras pueden ser tomadas frecuentemente y se pueden repetir las veces necesarias si existieran dudas respecto a los valores obtenidos.

Los valores se calculan en base a la cantidad de luz transmitida por la hoja en dos longitudes de onda, en las que la absorbancia de luz (que es inversamente proporcional a la reflectancia) es diferente. La máxima absorbancia se produce en las regiones del azul y del rojo, con poca absorbancia en la región verde y prácticamente

nula en la región del infrarrojo. Por esta razón, las longitudes de onda utilizadas para medición, son las que corresponden al rojo (alta absorbancia y no afectada por caroteno) y al infrarrojo. La luz emitida por el aparato corresponde a luz roja (650 nm de longitud de onda) zona de absorción de las clorofilas y a luz infrarroja (940 nm de longitud de onda) donde no hay absorción y se utiliza como testigo (Villar et al., 2003).

Las señales digitales se procesan por el equipo y en la pantalla aparece un valor adimensional que se ha relacionado con el estado nutricional nitrogenado (Piekielek et al., 1995). Este valor es diferente según se utilice uno u otro equipo, estando estos altamente correlacionados (Lasa et al. 2005).

El SPAD-502® tiene la capacidad de guardar un máximo de 30 lecturas, pero permite la posibilidad de conectarlo a un dispositivo de almacén de datos con lo que la capacidad de almacenamiento aumenta hasta 4000 mediciones.

Estos instrumentos permiten valorar el estado nutricional del cultivo en N de forma que posibilita decidir si conviene o no un aporte tardío, tanto para corregir la deficiencia de N del cultivo y mejorar su producción como para incrementar el contenido en proteína del grano. Evitan pues, aportes de fertilización nitrogenada innecesarios si el estado nutricional es adecuado. Por ello, han sido utilizados en fertilización nitrogenada para incrementar el rendimiento (Vidal et al., 1999; Denuit et al., 2002; Darwich, 2005) y la calidad (López- Bellido et al., 2005).

La lectura de los medidores de clorofila puede verse afectada, aparte de por una falta de N, por las diferencias genéticas de las variedades, por el estado de crecimiento del cultivo, por factores de estrés (estrés hídrico), presencia de enfermedades y factores ambientales (temperatura, humedad, luminosidad, tipo de suelo, etc.). Para evitar los factores de variabilidad citados se utilizan valores relativos, refiriendo el valor del lector al obtenido en una superficie de la parcela en donde no hay déficit de N. De esta manera, se podría solventar el principal inconveniente de estos equipos, ya que de otro modo, debería calibrarse para cada especie y variedad.

Los medidores de clorofila se comportan mejor, cuanto más avanzado sea el momento de lectura. La relación entre los valores obtenidos con el medidor de clorofila y el rendimiento son mejores en estados fenológicos mas avanzados, así como con el contenido en proteína en grano (Arregui et al., 2002; Gandrup et al., 2004). Si embargo se han identificado los estados fenológicos Z-37 y Z-39 como los mejores momentos para determinar si una parcela de trigo responderá o no a la fertilización nitrogenada (Denuit et al. 2002; Arregui et al, 2006)

La posibilidad de detectar deficiencias de nitrógeno en zonas húmedas o regadíos mediante el uso de medidores de clorofilas y de poder corregirlas con aportes tardíos de nitrógeno se ha valorado positivamente para trigo y maíz (Lasa et al., 2005; Arregui et al, 2006). El resultado final, en estos casos, va a depender de las precipitaciones que se registren al final del periodo de cultivo o de la posibilidad de regar en esos momentos. El uso de estos equipos puede evitar aportaciones innecesarias de nitrógeno en tercera cobertera.

Los medidores de clorofila pueden ser útiles para diagnosticar el estado nutricional del cultivo y por tanto pueden ser empleados en estrategias de fertilización nitrogenada para mejorar la eficiencia del fertilizante, utilizándolos en combinación con métodos de análisis de suelo (Arregui et al, 2006).

2.5.5. Sensores remotos.

Los sensores remotos son instrumentos que permiten medir la cantidad y la calidad de la energía solar que reflejan el suelo y los cultivos de modo que es posible utilizarlos para determinar la cantidad de biomasa vegetal de los cultivos o una enfermedad así como deficiencias nitrogenadas. Estos dispositivos pueden estar montados en satélites, aviones o equipos terrestres. La gran diferencia entre estos sensores es su nivel de resolución espacial (tamaño de píxel), el área de cobertura (generalmente inversamente relacionada a la resolución) y el tiempo de retorno a un sitio determinado, es decir, el lapso que transcurre entre una y otra toma de datos, algo que puede variar entre días hasta meses, en el caso de los satélites (Ruffo, 2011)

Entre los sensores remotos terrestres se encuentra el N-Sensor que fue desarrollado para la gestión y distribución de nitrógeno. Se trata de un equipo compuesto por serie de sensores y un software capaz de trabajar “sobre la marcha” midiendo la luz reflejada por el cultivo y transformando esta información a cantidad óptima de nitrógeno por hectárea. Los sensores son capaces de identificar la variabilidad del cultivo en la parcela y traducir esta variabilidad en necesidades de nitrógeno, actuando automáticamente sobre el controlador de la abonadora de forma que se modifique, en tiempo real, la cantidad aplicada. La aplicación de la dosis óptima de nitrógeno produce incrementos no solo de la cantidad total sino también de la calidad del producto. Se consigue una mejor eficiencia y mejores resultados económicos, además de minimizar los efectos ambientales (Jiménez et al., 2003).

Estos sensores pueden conectarse a un receptor de señal GPS (sistema de posicionamiento global), combinado con sistemas SIG (sistema de información geográfica), lo que permite elaborar en tiempo real, el mapa de vegetación a partir de las lecturas de la radiación emitidas. A partir de los datos transformados se genera el mapa de aplicación nitrogenada ejecutado. Es decir, la distribución de fertilizante no se realiza según mapas de abonado establecidos a partir de datos históricos sino que, tras la aplicación de las unidades fertilizantes necesarias se elabora el mapa real de la aplicación, pudiendo ser éste utilizado posteriormente con un sistema de posicionamiento global convencional. Esta aplicación diferencial es almacenada para la posterior elaboración del mapa de fertilización, siendo este utilizable en posteriores campañas como sistema de información para una aplicación diferencial basada en antecedentes culturales (Jiménez et al., 2003).

La combinación de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), hace posible la Agricultura de Precisión (AP), como concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal en la producción agrícola (Jiménez et al., 2003).

2.6. Calidad del trigo.

En España, al igual que en muchos otros países productores de trigo aumenta la demanda de trigo de mayor calidad panadera. Dos factores determinantes de la calidad son la cantidad total de proteína del grano, altamente influenciada por condiciones del cultivo, y la composición cualitativa de esa proteína, determinada tanto genética como ambientalmente.

2.6.1. Relación de la calidad con la fertilización nitrogenada.

El contenido en proteína en el grano de trigo esta determinado genéticamente según la variedad, además de por las condiciones climáticas y el manejo del cultivo de una zona concreta. La gestión de la fertilización nitrogenada es el factor de manejo de cultivo que puede mejorar significativamente la calidad del trigo (Kemmler, 1983).

Tanto la dosis de fertilizante nitrogenado como su fraccionamiento tiene una elevada influencia en el contenido de proteína en grano. La distribución en tres aplicaciones en lugar de dos parece tener como respuesta el incremento en el porcentaje de proteína en grano sin que afecte al rendimiento del cultivo. Este aporte tardío se realiza entre el inicio del encañado, estado fenológico Z 30 (Zadoks et al. 1974) y aparición de última hoja (Z37). Muchos autores retardan la tercera aplicación a estados fenológicos posteriores a Z37 con el fin de favorecer el contenido en proteína del grano, pero aplicando en este caso fertilización foliar (López-Bellido et al., 2004).

El fraccionamiento permite al mismo tiempo, ajustar la dosis de N a las necesidades del cultivo. En el caso de cultivo en regadío, el N tardío aportado podrá ser absorbido por la planta sin depender de la climatología (precipitaciones) como en secano. Se produce una mejora significativa de las propiedades reológicas del grano de trigo y por tanto de su calidad.

El N se almacena en la planta de trigo en forma de proteína soluble en las hojas, tallos y raíces durante la fase vegetativa. Cuando comienza el llenado del grano, se desencadena la senescencia de los órganos vegetativos y con ella la degradación de las proteínas solubles y la removilización del N hacia el grano. El retraso de la senescencia esta relacionado con altos niveles de citoquinas en la planta durante este periodo. El aumento de la dosis de fertilización nitrogenada y su mayor fraccionamiento producen una mayor concentración de citoquinas en la planta y por tanto un retraso en la senescencia de las partes vegetativas. Al mismo tiempo, se produce un aumento en los niveles y en la actividad de la glutamina sintetasa (GS1), enzima responsable del reciclaje de N en la planta (Fuertes Mendizábal et al, 2010).

El retraso en la senescencia y el aumento de la actividad enzimática tiene como consecuencia una reasimilación mas eficiente del N procedente de la degradación de las proteínas solubles almacenadas en las partes vegetativas de la planta y tiene como resultado un aumento de la proteína en grano (Fuertes Mendizábal et al, 2009; Caputo et al., 2009).

En las proteínas del grano de trigo se diferencian dos grupos: proteínas metabólicas (albúminas y globulinas) y las proteínas de reserva (gliadinas, y gluteninas). El incremento del contenido proteico del grano se debe al aumento de la cantidad de las proteínas de reserva, ya que la cantidad de proteínas metabólicas se mantiene estable e independiente del manejo de la fertilización nitrogenada (Fuertes Mendizábal et al, 2010). Son las proteínas de reserva las responsables de la calidad de la harina obtenida.

El aumento de la dosis de fertilizante N y su fraccionamiento produce un aumento de la polimerización de las gluteninas responsable del aumento de la calidad (Fuertes Mendizábal et al, 2010).

2.6.2. Parámetros de calidad del trigo.

Las proteínas presentes en el grano de trigo son albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas. Las prolaminas y las glutelinas se encuentran en el endospermo mientras que las albúminas y las globulinas se encuentran en la capa de aleurona que rodea al endospermo del grano de trigo (proteínas metabólicas). La asociación de dos proteínas: la gliadina (una prolamina) y la glutenina (una glutelina) determinan en gran medida las propiedades reológicas de una masa panaria. Las gliadinas hidratadas tienen poca elasticidad y son menos cohesivas que las gluteninas, por lo que contribuyen principalmente a la viscosidad y extensibilidad de la masa. Las gluteninas son responsables de la formación del gluten cuando se hidrata la harina debido a que forman enormes agregados proteicos de alto peso molecular, siendo por ello cohesivas y elásticas, y aportando fuerza y elasticidad a la masa. Las proporciones de estas proteínas determinan el destino industrial que se le vaya a dar a la harina. En función de esas proporciones se consigue tener un trigo que sea mas apto para conseguir harinas extensibles, o para conseguir harinas más elásticas, o con más tenacidad (Callejo González, 2002).

La calidad del trigo está determinada por la combinación de una serie de parámetros que se definen a continuación:

Peso específico (hectolítrico): mide la relación entre el peso y el volumen de una determinada muestra de trigo. Determina el peso en kilogramos de un volumen de 100 litros de grano. Con este parámetro se tiene una buena estimación de la calidad física del grano y del rendimiento en molienda. Influye la variedad, las condiciones de cultivo, la homogeneidad de la muestra, los factores bióticos y abióticos.

Contenido en proteína: se mide por la cantidad de nitrógeno que posee el grano (corregido por un factor). Puede estar influenciada por diferentes factores, por un lado los genéticos (variedad), y por otro lado los ambientales (las condiciones climatológicas, la fertilización nitrogenada, etc.), pero tiene gran importancia la proporción en la que se encuentran los diferentes tipos de proteína, en lo que el factor genético (variedad) tiene una importancia predominante.

Parámetros reológicos: Estos parámetros determinan el comportamiento ante una deformación de una masa elaborada con harina y agua. Se realiza mediante el alveógrafo de Chopin. La pieza de masa es inflada con aire a presión, simulando la deformación que esta sufre como consecuencia de los gases que se generan durante el proceso de fermentación. Dicha muestra comienza a expandirse hasta que la presión interna es mayor y revienta la masa, en ese momento la curva del alveograma cae, la información se obtiene de forma grafica y numérica.

Los parámetros reológicos que se tienen en cuenta a la hora de determinar el comportamiento de una masa panaria son: a) Fuerza panadera (W), b) tenacidad (P), c) extensibilidad (L), d) relación entre la tenacidad y la extensibilidad (P/L).

a) La fuerza panadera (**W**) mide la calidad industrial de un trigo. Nos da una valoración del volumen que puede llegar a obtenerse con una masa de harina de trigo. En el alveograma, está representado por el valor del área comprendida dentro de la línea alveográfica. Existe una relación entre el contenido de proteína del grano y la fuerza panadera (a proteína mas alta, mayor W (Goñi J. et al. 2009).

b) Tenacidad (**P**) : es una medida de la resistencia a la extensión. En el alveograma, se representa, por la altura máxima que alcanza la curva (Goñi J. et al. 2009).

c) Extensibilidad (**L**): mide la extensión máxima que puede alcanzar la masa sin romperse. En el alveograma es la máxima longitud de la curva (máximo valor en eje x) (Goñi J. et al. 2009).

d) Relación entre la tenacidad y la extensibilidad (**P/L**): representa el equilibrio de la harina de trigo. A menor valor de relación P/L, mayor equilibrio (Goñi J. et al. 2009).

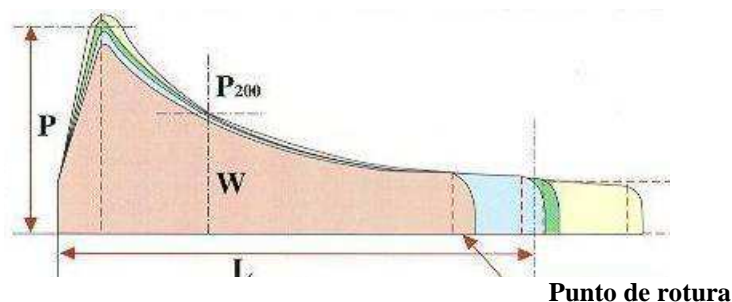


Figura 3: Alveograma.

Los parámetros reológicos son utilizados en la nueva norma de calidad del trigo blando para su clasificación comercial.

Otro de los parámetros tenidos en cuenta es la degradación proteolítica que hace referencia a la pérdida de fuerza panadera provocada principalmente por el ataque de los granos por determinadas especies de insectos hemípteros (pertenecientes a los Géneros: *Aelia* y *Eurygaster*) que durante el desarrollo del grano en la planta pican el grano e inoculan su saliva, compuesta por un complejo enzimático. Este permanece en el grano lo que afectará a la malla de gluten y provocará pérdidas en sus propiedades viscoelásticas relacionadas con el proceso de panificación. Es aceptado que sólo existe

actividad proteolítica excesiva (degradación) cuando disminuye más de un 15-25% W (fuerza panadera) a las 2 horas de reposo, sólo si disminuye L (extensibilidad).

Las harinas con poca fuerza, más viscosas y extensibles (bajo contenido en gluten y una mayor proporción de gliadinas) se utilizan para procesos de panificación donde no se requiera mucha estructura, como por ejemplo en galletería. Las que presentan mucha fuerza (alto contenido en gluten y mayor proporción de gluteninas) son más tenaces y se utilizan para procesos en los que se necesite un resultado más esponjoso, como la elaboración de pan de molde. Si tienen una relación balanceada de gliadinas y gluteninas presentan una fuerza media y son utilizadas para panadería. Harinas que presentan una fuerza (W) por debajo de 100 no se consideran aptas para la panificación. En general, las que presentan una fuerza superior a 300 julios (W) se utilizan como correctoras, se mezclan con harinas de trigo más débiles. Las harinas de trigos que tienen una fuerza panadera entre 250 y 300 se utilizan directamente en la fabricación panadera.

2.6.3. Norma calidad del trigo blando.

Ha existido en nuestro país un vacío jurídico en cuanto a la clasificación comercial del trigo, lo que ha supuesto una clara desventaja competitiva con respecto al entorno comunitario. El objeto de la norma de calidad del trigo (establecida en el Real Decreto 1615/2010, de 7 de diciembre, por el que se aprueba la norma de calidad del trigo. BOE n.º 301) es la comercialización normalizada de la oferta española de trigo. Se establece para los trigos blandos y los trigos duros, en función de los parámetros de calidad que son tenidos en cuenta para los diferentes usos de los granos, sus harinas y sus sémolas. En el Real Decreto se establecen una serie de categorías según grupos y grados para el trigo. Esta categorización en grupos numerados indica el uso industrial óptimo para cada trigo y los grados hacen referencia a condiciones de entrega y otras variables de las que dependerá el rendimiento industrial del grano.

Los parámetros de calidad que son tenidos en cuenta para establecer las categorías por grupos y grados y los diferentes rangos en ellos, son los más apreciados por la industria transformadora de cereales. Los parámetros utilizados son: a) «W»: Fuerza panadera, b) «P»: Tenacidad. c) «L»: Extensibilidad. d) Índice General de Calidad. e) Contenido en proteína. f) Calidad del gluten. g) Peso específico.

Los métodos de análisis de estos parámetros han sido adaptados a la tecnología actual y a los métodos normalizados de análisis de estos parámetros, sustituyendo a la anterior normativa (Orden de 31 de enero de 1977 por la que se establecen los métodos oficiales de análisis de aceites y grasas, cereales y derivados, productos lácteos y productos derivados de la uva.).

La categorización de grupos es teórica ya que se ha basado en resultados obtenidos en diferentes ensayos. Así pues, en esta norma se asigna teóricamente, cada variedad a un grupo determinado sin que se garantice que el producto obtenido de una variedad concreta pertenezca a dicho grupo. Las características del trigo obtenido dependen de otros muchos factores además de la variedad. El grupo al que pertenezca será definido por los valores de los parámetros que son tenidos en cuenta tras su

análisis. Sin embargo, puede permitir a los agricultores la elección de variedades de grupos que por las condiciones edáficas de sus parcelas, climáticas o de demanda en la zona en la que se ubican tengan una mejor adaptación al mercado. Las partidas de trigo además, pueden estar formadas por granos de más de una variedad.

La clasificación de los trigos blandos en los diferentes grupos y grados según los parámetros de calidad establecidos y la categorización teórica de las variedades de los trigos blandos se muestran en el Anexo I.

La implantación de la norma ha tenido un periodo transitorio donde se han establecido las relaciones directas entre variedades comerciales utilizadas en nuestro país y su pertenencia a cada uno de los grupos. Ha estado sujeta a algunas modificaciones para una mejor adecuación de cuestiones técnicas y analíticas. La norma está vigente desde el 1 de julio de 2011.

3. OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar la utilidad del medidor de clorofila SPAD-502® como herramienta para mejorar el ajuste de la fertilización nitrogenada de trigo, en regadío.

Objetivos específicos:

1. Respuesta del cultivo de trigo en regadío a la dosis de fertilizante nitrogenado.
 - 1.1 Influencia de la dosis de nitrógeno sobre el rendimiento.
 - 1.2 Influencia de la dosis de nitrógeno sobre el porcentaje de nitrógeno en el grano
 - 1.3 Influencia de la dosis de nitrógeno sobre la fuerza y la extensibilidad de la masa.
2. En el estado fenológico de aparición de la hoja bandera.
 - 2.1. Determinar la relación de las lecturas SPAD-502®, con el rendimiento.
3. En el estado fenológico de espiga:
 - 3.1. Determinar la relación de las lecturas SPAD-502® con el porcentaje de nitrógeno en el grano, en la cosecha.
 - 3.2. Determinar la relación de las lecturas SPAD-502® con la extensibilidad y la fuerza panadera.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 Localización del ensayo

Los ensayos fueron realizados durante las campañas 2009-10, 2010-11 y 2011-12 en las fincas de agricultores que se encuentran en Artajona (2009-10), Miranda de Arga (2010-11) y Pitillas (2011-12). Estas tienen un precedente de cebada, maíz y cebada, respectivamente.

Navarra se encuentra dividida en siete comarcas agrarias caracterizándose cada una de ellas por unas condiciones físicas del terreno y una climatología propias, que son las que en gran parte condicionan la vegetación natural y los distintos usos del suelo.

La Comarca agraria V (Navarra media) donde se localizan las fincas de los ensayos de Artajona y Pitillas, se caracteriza un clima mediterráneo, con una clara influencia atlántica en su parte occidental y mayor continentalidad hacia el este. La precipitación media anual varía entre los 450 y los 1.100 mm y la temperatura media anual entre los 11 y los 14 °C.

La Comarca agraria VI (Ribera Alta del Aragón) donde se localiza la finca de Miranda de Arga, se corresponde con la zona de clima mediterráneo más seco de Navarra. El clima es mediterráneo templado, con veranos secos, temperaturas con grandes oscilaciones anuales, pocas lluvias e irregulares (menos de 500 mm anuales) y fuerte presencia del cierzo. La temperatura media anual oscila en torno a los 14 °C.



Figura 4. Localización de los ensayos. Comarcas agrarias en Navarra.

Fuente: Mapa de cultivos y aprovechamientos de Navarra (Dpto de de desarrollo Rural, Medioambiente y Administración Local)

4.2 Material vegetal

Se han empleado cuatro variedades de trigo blando (*Triticum aestivum*) para la realización del ensayo llevado a cabo en régimen de riego por aspersión. Dos de estas variedades Berdún y Nogal, son de ciclo largo o de otoño y otras dos Badiel y Osado de ciclo intermedio. La diferencia entre ellas se basa en la duración del periodo vegetativo y en la integral térmica, cuyos valores son, tomando como cifras medias 1.900-2.400 °C para trigos de otoño y 1.250-1.550 °C para trigos de primavera.

4.2.1. Berdún

El trigo blando de esta variedad a pesar de ser de ciclo largo, tiene una precocidad superior a otros trigos de invierno. Es la variedad de trigo de ciclo largo que más notablemente decae su rendimiento conforme se retrasa más la siembra. La precocidad en inicio de encañado es un indicador de la adaptación que tiene una variedad a las siembras tempranas de otoño. Presenta, además, una capacidad de ahijamiento más elevada que sus homólogos, así como el peso específico en cosecha.

Morfológicamente es de talla media y porte erecto lo que le confiere una excepcional resistencia al encamado incluso en condiciones de viento superiores a la media dada en Navarra. La espiga es no barbada y de color blanquecino-amarillento durante la madurez.

Es una variedad tolerante a enfermedades comunes (oidio, mal de pie, septoria) Sin embargo, es susceptible de ser colonizado por malas hierbas por lo que requiere un minucioso control de estas.

Presenta una calidad harinera variable en función del contenido de proteína del grano. Se caracteriza por unos valores de W medios y de la relación P/L equilibrados o con una tendencia a la extensibilidad, principalmente para los valores de proteína más altos, que la hacen interesante para la industria harinera.

Clasificación: Grupo 3 (Harina corriente a media fuerza y equilibrada a extensible).
Proteína (%) ≥ 11 ; $W \quad 100 \leq W < 200$; $P/L \leq 0,8$; Índice de Caída (segundos) ≥ 250 ;
Degradación proteolítica (%) < 15

4.2.2. Nogal

Trigo considerado de tipo invernal, pero de ciclo medio a precoz. En consecuencia, es conveniente evitar las siembras demasiado precoces.

Presenta un elevado potencial de producción, superior a otras variedades como Marius y Soissons. Muestra una buena adaptación en todas las zonas, especialmente en los regadíos.

Normalmente se ve poco afectada por oidio y roya parda; por el contrario, es bastante sensible al encamado, siendo recomendable evitar abonados nitrogenados excesivos.

Presenta un elevado peso específico y un contenido en proteína que se ha clasificado como medio a alto. Da lugar a unas harinas panificables aunque su calidad harinera varía en función del contenido en proteína del grano: oscila entre harinas de media fuerza y tenaces y como mejorantes y equilibradas.

Clasificación: Grupo 2 (Harina de media fuerza a mejorante y tenaz a equilibrada).
Proteína (%) ≥ 12 ; $W\ 200 \leq W < 300$; $P/L \leq 1,5$; Índice de caída(segundos) ≥ 250 ; Degradación proteolítica (%) < 15

4.2.3. Badiel

Variedad de trigo blando de ciclo intermedio, indicado para siembras más tardías que Berdún con una buena productividad, sobretodo pensando en regadíos. No conviene sembrarlo pronto. Es de talla corta, y tiene una alta sensibilidad a enfermedades especialmente a roya. Presenta calidad de ahijado elevada y un espigado precoz. La espiga es barbada y el color de la misma es claro, muy blanco en floración oscureciéndose hacia la madurez. El porte de la espiga es arqueada, siendo esta la diferencia sustancial morfológica con respecto a Berdún. Su calidad lo hace interesante para la industria harinera, ya que es un trigo de los denominados de fuerza.

Clasificación Grupo 1 (harina de fuerza)
Proteína (%) ≥ 13 ; $W \geq 300$; $P/L \leq 1,8$; Índice de caída(segundos) ≥ 250 ; Degradación proteolítica (%) < 15

4.2.4. Osado

Variedad de trigo alternativo con un ciclo precoz a medio, adecuada para siembras desde mediados de noviembre a finales de diciembre. Es una planta de altura media a baja que se ve poco afectada por encamado.

Muestra un buen potencial productivo, principalmente en los regadíos y parcelas más fértiles.

Su sanidad está condicionada por su susceptibilidad a oídio y septoria; aunque por el contrario, es bastante resistente a las royas parda y amarilla.

El aspecto más destacable de su calidad harinera es su elevada extensibilidad (normalmente superior a 100), que le proporciona valores bajos de la relación P/L (normalmente inferiores a 0,5). Ha proporcionado normalmente harinas de media fuerza. Estas características la pueden hacer atractiva para la industria harinera.

Clasificación: Grupo 3 (Harinas de media fuerza a corrientes y extensibles a equilibradas).
Proteína (%) ≥ 11 ; $W\ 100 \leq W < 200$; $P/L \leq 0,8$; Índice de Caída (segundos) ≥ 250 ; Degradación proteolítica (%) < 15

4.3. Diseño experimental

Las parcelas experimentales se dividieron en seis bloques o repeticiones en cada localidad de las que se emplearon para este estudio tres de ellas. Para el estudio del rendimiento según dosis de fertilización nitrogenada y variedades se empleó un diseño experimental en split-plot o parcela dividida. El factor principal o parcela principal fue la dosis de N y la subparcela variedad de trigo. En cada repetición (bloque) se

distribuyeron al azar en las parcelas principales, las diferentes dosis de N, en cada una de las cuales se dispusieron las variedades objeto de estudio. Las dimensiones de las parcelas elementales son de 12 m² (1,2mx10m). La distribución de las parcelas con los diferentes tratamientos y variedades en cada uno de los ensayos se muestra en Anexo II.

Los tratamientos aplicados se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2: Campañas, localidades de realización del ensayo, dosis de N utilizadas y tipo de fertilizante nitrogenado.

Campaña	Localidad	Dosis fertilizante (kg N /ha)	Tipo de fertilizante
2009-2010	Artajona	0,160,220,280,340	Urea
2010-2011	Miranda de Arga	0,120,180,240,300	Urea
2011-2012	Pitillas	0,30,60,90,150,210,270	Urea

4.4. Suelo

En la Tabla 3 se muestran algunas de las características físico-químicas de los suelos de los ensayos, y la clasificación textural U.S.D.A (Anexo III).

Tabla 3: Características físico-químicas del suelo en cada parcela.

Fuente: Informe analítico realizado por NASERSA, S.A.

Artajona 2009-2010		Profundidad (cm)	
		0-25	25-50
Textura (USDA)	% Arena	12,54	34,28
	% Limo	47,48	36,18
	% Arcilla	39,98	29,54
Clase textural		Franco arcillo limosa	Franco arcillo limosa
pH		7,88	7,99
% M.Orgánica		1,97	0,86
Relación C/N		7,82	6,41
P2O5(mg/kg)		76,72	40,00
K2O(mg/kg)		211,29	107,00

Miranda de Arga- 2010-2011		Profundidad (cm)	
		0-25	25-50
Textura (USDA)	% Arena	19,26	17,44
	% Limo	45,18	41,53
	% Arcilla	35,56	41,03
Clase textural		Franco arcillo limosa	arcillo limosa
pH		7,76	7,86
% M.Orgánica		2,23	1,86
Relación C/N		8,20	8,18
P2O5(mg/kg)		15,06	4,57
K2O(mg/kg)		236,31	198,61

Pitillas 2011-2012		Profundidad (cm)	
		0-25	25-50
Textura (USDA)	% Arena	52,93	54,4
	% Limo	27,4	27,28
	% Arcilla	19,68	18,33
Clase textural		Franco arcilloso	Franco arcilloso
pH		7,88	7,92
% M.Orgánica		2,21	1,26
Relación C/N		9,69	9,52
P2O5(mg/kg)		136,69	46,74
K2O(mg/kg)		354,52	110,44

El pH incide en muchas propiedades de los suelos como la regulación de la biodisponibilidad de los nutrientes. Junto a contenido en materia orgánica y otros parámetros (capacidad de cambio, grado de saturación), el pH regula la fertilidad química del suelo. El pH de las tres muestras es ligeramente alcalino, considerándose dentro de los valores normales. Los mejores suelos para el crecimiento del trigo suelen ser neutros o algo alcalinos además de arcilloso-arenosos para mantener la adecuada proporción de agua.

El contenido en materia orgánica en las muestras de suelo de las fincas de Miranda de Arga y Pitillas es bueno, siendo algo bajo en la fina de Artajona. El contenido en materia orgánica favorece el desarrollo de la estructura, por tanto mejora las propiedades físicas (aumenta la porosidad, la permeabilidad, el drenaje y la capacidad de retención de agua útil) y las propiedades químicas (contenido en nutrientes y capacidad de intercambio iónico) y protege al suelo de la erosión.

La relación C/N es considerada normal y acorde a los contenidos de materia orgánica en cada caso. El nivel de MO y la relación C/N proporcionan información sobre el nitrógeno asimilable que el suelo va a producir a lo largo del ciclo de cultivo.

4.5. Labores de cultivo

La siembra se realizó durante la segunda mitad del mes de noviembre en todos los ensayos y variedades a excepción de las de ciclo intermedio (Badiel y Osado) en la segunda y tercera campaña que se llevó a cabo en diciembre. La dosis de semilla sembrada fue 500 semillas/m² en los tres ensayos realizados.

Las fechas de siembra y otras labores se detallan en la Tabla 4:

Tabla 4: Fechas de siembra, aplicación de cobertera de N y cosecha en cada campaña.

Campaña	Localidad	Siembra		Cobertera N	Cosecha
2009-10	Artajona	18-11-2009	19-11-2009	9-03-2010	20-07-2010
2010-11	Miranda de Arga	12-11-2010	1-12-2010	4-04-2011	29-06-2011
2011-12	Pitillas	17-11-2011	21-12-2011	28-03-2012	3-07-2012

En todos los ensayos se aplicó una única cobertera de nitrógeno en inicio de encañado por no considerarse necesaria la aplicación durante el ahijado. Las labores de abonado

fueron realizadas de forma manual y los riegos fueron establecidos en función de las recomendaciones de Riegos de Navarra.

A lo largo del desarrollo del cultivo se realizaron las aplicaciones de fitosanitarios que se estimaron necesarias.

La cosecha se llevó a cabo en las fechas indicadas para cada uno de los ensayos cuando la humedad del grano estaba en torno al 14% con una cosechadora especial para microparcelas.

El rendimiento para cada tratamiento se calculó haciendo la media de sus repeticiones. Para cada tratamiento y variedad se determinó el rendimiento máximo por ajuste a una distribución cuadrático-meseta, (Cerrato et al. 1990) correspondiendo este a la dosis de N óptima.

Se calculó el rendimiento relativo (RR) para cada tratamiento mediante el cociente entre el rendimiento medio de dicho tratamiento y el rendimiento máximo correspondiente a la dosis óptima de nitrógeno en cada tratamiento. La dosis óptima o dosis umbral de N se consideró como la mínima dosis de N que dio lugar al rendimiento máximo en cada experimento.

4.6. Toma de datos con medidor de clorofila.

Las medidas con el medidor de clorofila SPAD-502® se realizaron en dos estados fenológicos: aparición de la hoja bandera (Z-37) y emergencia de la mitad de la espiga (Z-55). Las lecturas se realizaron para cada parcela elemental en la última hoja completamente extendida de 30 plantas distintas. El valor asignado a cada parcela elemental se obtuvo como la media de estas 30 lecturas. El valor correspondiente a cada tratamiento fue la media de los obtenidos en cada una de sus repeticiones.



Figura 5: Medidor de clorofila SPAD-502®. Fuente: elaboración propia.

Las lecturas se realizaron en las fechas que se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5: Toma de lecturas con medidor de clorofila SPAD en estados fenológicos Z37 y Z55 en cada variedad y campaña.

Variedad	Estado fenológico	Campañas		
		2009-2010	2010-2011	2011-2012
Badiel	Z-37	15.04.2010	13.04.2011	25.04.2012
	Z-55	28.04.2010	26.04.2011	09.05.2012
Berdún	Z-37	21.04.2010	13.04.2011	20.04.2012
	Z-55	30.04.2010	29.04.2011	09.05.2012
Nogal	Z-37	21.04.2010	13.04.2011	20.04.2012
	Z-55	07.05.2010	26.04.2011	09.05.2012
Osado	Z-37	21.04.2010	13.04.2011	25.04.2012
	Z-55	07.05.2010	02.05.2011	11.05.2012

4.7. Determinación de porcentaje de nitrógeno en grano y parámetros de calidad panadera.

Se ha determinado en contenido de nitrógeno en grano en cada una de las variedades y en cada campaña, con el fin de determinar la posible relación entre este (%N grano) y las diferentes dosis de los tratamientos nitrogenados empleados. Para ello, se tomó una muestra del grano recolectado y se determinó el contenido de N mediante el método de Kjeldahl (según método oficial) en cada variedad y para diferentes tratamientos. La determinación fue realizada en NASERTIC (antiguo NASERSA) La concentración de N en grano para cada tratamiento, se calcula haciendo la media de sus repeticiones. Los parámetros de calidad panadera, fuerza panadera y extensibilidad, se determinaron mediante el alveógrafo de Chopin en los laboratorios de la harinera Guria, S.A.

4.8. Análisis estadístico.

Se han establecido los coeficientes de determinación entre las variables relacionadas en cada caso.

Los datos tomados en el ensayo se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA), con un grado de probabilidad del 5%. Si se presentaban diferencias significativas se procedía a realizar un Test de comparación de medias o Test de rango múltiple de Duncan. El programa informático utilizado fue SPSS 15.0 (Statistical Package for the Social Sciences)

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Relación entre la dosis de fertilización nitrogenada y el rendimiento.

Se han aplicado diferentes tratamientos en las distintas campañas con el objetivo de determinar la respuesta del cultivo, en cuanto a rendimiento, al aumento de dosis de fertilización nitrogenada. El valor de rendimiento correspondiente a cada tratamiento ha sido la media de los obtenidos en cada una de sus repeticiones.

Los rendimientos obtenidos durante la campaña 2009-2010 se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6: Rendimiento (kg/ha) y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2009-2010.

Trat.	Dosis N	Badiel	Berdún	Nogal	Osado
1	Testigo-0	5337 \pm 924 b	5937 \pm 306 b	6489 \pm 444 b	5411 \pm 1405 b
2	160 kg N /ha	10241 \pm 431 a	9711 \pm 578 a	11300 \pm 240 a	9530 \pm 583 a
3	220 kg N /ha	9522 \pm 291 a	9589 \pm 251 a	11707 \pm 471 a	9604 \pm 302 a
4	280 kg N /ha	10378 \pm 595 a	9774 \pm 330 a	11600 \pm 306 a	9870 \pm 520 a
5	340 kg N /ha	10681 \pm 1208 a	9630 \pm 484 a	11381 \pm 573 a	9744 \pm 349 a

Las letras iguales indican diferencias no significativas para nivel de significación de 0,05.

Se observa un incremento del rendimiento con respecto al tratamiento testigo en el tratamiento de 160 kg de N/ha para todas las variedades de trigo blando objeto del ensayo. Sin embargo, en dosis superiores no se aprecia un aumento del rendimiento con respecto a la dosis de 160 kg de N/ha. La diferencia entre las variedades se debe a la característica varietal, siendo Nogal la que presenta mejores rendimientos para cualquier dosis de Nitrógeno aplicadas. Podría considerarse que a la dosis a partir de la cual no se aprecia aumento de rendimiento, se alcanza el rendimiento potencial máximo. Sin embargo, no podemos conocer si este se hubiese alcanzado con dosis menores situadas entre la testigo y 160 kg de N/ha ya que no fueron ensayadas en este estudio. En el tratamiento testigo (0 kg de N/ha) la cantidad de nitrógeno mineral que aporta el suelo no cubre las necesidades del cultivo lo que se traduce en un menor rendimiento.

Puede observarse, que se produce un ligero descenso en rendimiento para la máxima dosis ensayada en todas las variedades a excepción de Badiel. Sin embargo, no se puede afirmar que se haya utilizado la máxima dosis a partir de la cual se produce un descenso en el rendimiento.

El rendimiento del cultivo aumenta al ir incrementando la dosis de fertilización nitrogenada hasta alcanzar la dosis umbral, para la cual se alcanza el rendimiento máximo potencial, según una distribución cuadrático-meseta avalada por diferentes ensayos realizados por otros estudios (Cerrato y Blackmer, 1990; Borghi, 1999; Arregui, 2006).

Los rendimientos medios por tratamiento obtenidos durante la campaña 2010-2011 se muestran en la Tabla 7:

Tabla 7: Rendimiento (kg/ha) y desviación estándar tratamiento en cada variedad en la campaña 2010-2011.

Trat	Dosis de N	Badiel	Berdún	Nogal	Osado
1	Testigo-0	9530 \pm 903 a	10208 \pm 93 b	10342 \pm 500 b	9059 \pm 697 a
2	120 kg N /ha	9807 \pm 589 a	11178 \pm 775 a	11711 \pm 344 a	9752 \pm 845 a
3	180 kg N /ha	10574 \pm 168 a	11254 \pm 323 a	11643 \pm 320 a	10230 \pm 687 a
4	240 kg N /ha	10012 \pm 389 a	11007 \pm 756 a	11712 \pm 501 a	10195 \pm 294 a
5	300 kgN /ha	10413 \pm 706 a	11288 \pm 291 a	11717 \pm 68 a	10221 \pm 484 a

Las letras iguales indican diferencias no significativas para nivel de significación de 0,05.

Durante esta campaña se ha observado un incremento del rendimiento al aumentar la dosis del tratamiento testigo a la siguiente dosis aplicada de 120 kg de N/ha en las variedades ensayadas (Tabla 7). Si embargo, al realizar el análisis de varianza no se obtuvieron diferencias significativas ($p>0,05$) entre tratamientos para las variedades Badiel y Osado. Para las variedades Berdún y Nogal se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento testigo y los demás. El incremento de las dosis de N no se traduce en un aumento del rendimiento a partir de la dosis de 120 kg de N/ha. El rendimiento es mayor en Nogal y en Berdún (variedades de ciclo largo), de mayor potencial productivo que las variedades de ciclo intermedio.

No se observan descensos en el rendimiento una vez superada la máxima dosis aplicada. de 300kg de N/ha. No se alcanza la dosis para la cual se produciría un descenso en el rendimiento del cultivo.

Los rendimientos obtenidos durante la campaña 2011-2012 se muestran en la Tabla 8:

Tabla 8: Rendimiento (kg/ha) y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2011-2012.

Trat.	Dosis N	Badiel	Berdún	Nogal	Osado
1	Testigo-0	6625 \pm 411 a	7549 \pm 887 a	8385 \pm 591 a	5878 \pm 248 a
2	30 kg N /ha	7143 \pm 474 a	7827 \pm 286 a	8609 \pm 494 a	6039 \pm 191 a
3	60 kg N /ha	7037 \pm 543 a	8257 \pm 1254 a	8362 \pm 528 a	6003 \pm 267 a
4	90 kg N /ha	7083 \pm 388 a	8317 \pm 1337 a	8572 \pm 507 a	5704 \pm 282 a
5	150 kg N /ha	6793 \pm 404 a	7787 \pm 872 a	8325 \pm 926 a	5710 \pm 368 a
6	210 kg N /ha	6840 \pm 183 a	7745 \pm 676 a	8647 \pm 666 a	5473 \pm 476 a
7	270 kg N /ha	7185 \pm 283 a	7729 \pm 722 a	8422 \pm 488 a	5958 \pm 181 a

Las letras iguales indican diferencias no significativas para nivel de significación de 0,05.

En la esta campaña no se ha observado un incremento en el rendimiento al aumentar la dosis de fertilización nitrogenada salvo un ligero incremento en la primera dosis de 30 kg de N/ha para todas las variedades con respecto al testigo. Sin embargo, se produce, en general, un descenso en el rendimiento en todas las variedades ensayadas no superándose los 8500 kg/ha en la variedad mas productiva, Nogal, cuando el máximo en las campañas anteriores ronda los 11700kg/ha. En el análisis de varianza, no se han obtenido diferencias significativas ($p>0,05$) entre los distintos tratamientos en cada una de las variedades ensayadas.

Según los datos de rendimiento obtenidos para los distintos tratamientos aplicados, podemos decir que no se ha producido respuesta al incremento de la dosis de fertilización nitrogenada. Este hecho puede ser achacable a la alta tasa de mineralización que haya podido producirse debido a las condiciones del suelo (humedad, temperatura). El suelo podría contener una cantidad de N disponible que pudiese garantizar la nutrición nitrogenada con bajos aportes externos.

Analizando las tres campañas en conjunto, podemos decir que en las dos primeras se observa una respuesta a la fertilización nitrogenada, siendo esta considerablemente mayor en la campaña 2009-2010. Sin embargo, en la tercera campaña, no se ha observado respuesta a la fertilización nitrogenada.

5.2. Lecturas en el estado fenológico de aparición de hoja bandera.

En el estado fenológico de aparición de hoja bandera se realizaron lecturas con el medidor de clorofila SPAD-502® para establecer la existencia de relaciones entre estas y el rendimiento absoluto y el relativo.

5.2.1. Relación entre el rendimiento absoluto y el valor del medidor de clorofila SPAD-502®.

Para la realización de este análisis se han tomado los rendimientos medios por tratamiento y sus correspondientes valores del medidor de clorofila para el estado fenológico Z-37. Se ha establecido la relación existente entre el rendimiento absoluto por tratamiento obtenido para cada variedad ensayada en todas las campañas, con los valores obtenidos por el medidor de clorofila. Se han obtenido los coeficientes de determinación (R^2) que se muestran en la Tabla 9:

Tabla 9: Relación Rendimiento absoluto (kg/ha) vs SPAD-502® en las variedades ensayadas en estado fenológico Z-37. Coeficiente de determinación (R^2) Número de observaciones (n).

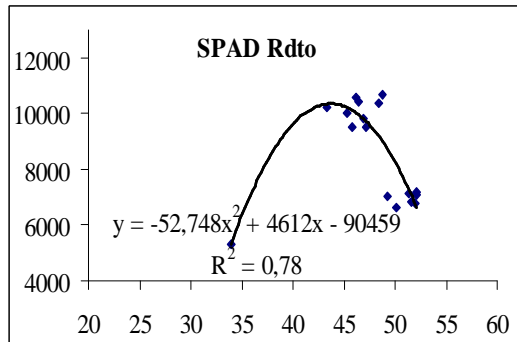
Rendimiento absoluto (kg/ha) vs SPAD-502®							
Badiel		Berdún		Nogal		Osado	
n	R^2	n	R^2	n	R^2	n	R^2
17	0,78	17	0,73	17	0,31	17	0,03

En las variedades Badiel y Berdún se observa (Tabla 9) un alto coeficiente de determinación que podría indicar correlación entre la lectura en el medidor de SPAD y el rendimiento absoluto. En la Figura 7 se observa, no obstante, que para elevados valores en las lecturas del medidor de clorofila se obtienen bajos rendimientos absolutos. Estos corresponden a datos de la última campaña donde los rendimientos son inferiores a las anteriores.

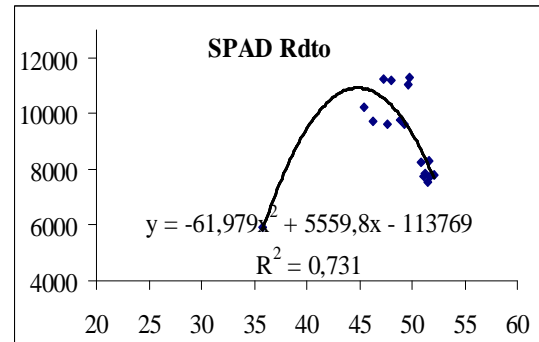
Como se observa en la Figura 7, las curvas obtenidas presentan un trazado que pone de manifiesto que la correlación obtenida carece de sentido para Badiel y Berdún. En las variedades Nogal y Osado el coeficiente de determinación es bajo o muy bajo lo que

es indicativo de una baja correlación entre las lecturas del medidor de SPAD y el rendimiento absoluto para estas variedades teniendo en cuenta el total de las campañas. La relación establecida entre rendimiento y lecturas de medidor de clorofila de muestra en la Figura 6:

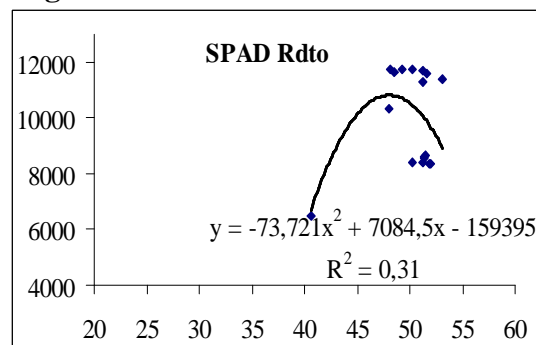
Badiel



Berdún



Nogal



Osado

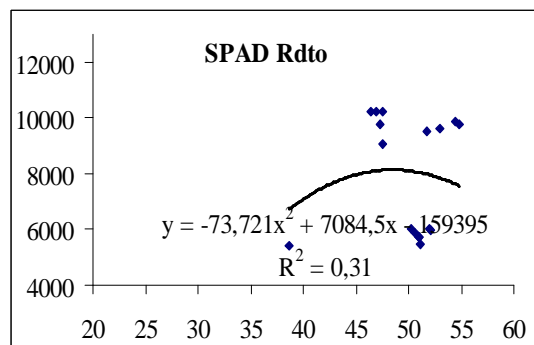


Figura 6: Relación entre rendimiento absoluto medio y lecturas de SPAD-502® en estado fenológico Z-37 para cada variedad.

Así pues, teniendo en cuenta los rendimientos de cada una de las variedades en todas las campañas no podemos establecer una relación entre estos y las lecturas del medidor. Consideramos que el efecto campaña y parcela influye en el rendimiento obtenido sin que se produzca una relación entre este y los valores obtenidos con el medidor de clorofila.

5.2.2. Relación entre el rendimiento relativo y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502®.

Se han establecido relaciones entre el rendimiento relativo y las lecturas obtenidas con el medidor de clorofila en el estado fenológico Z-37 para cada una de las variedades estudiadas en las tres campañas y para los tratamientos ensayados.

Se calcularon los coeficientes de determinación para cada una de las variedades tal y como se muestra en la Tabla 10:

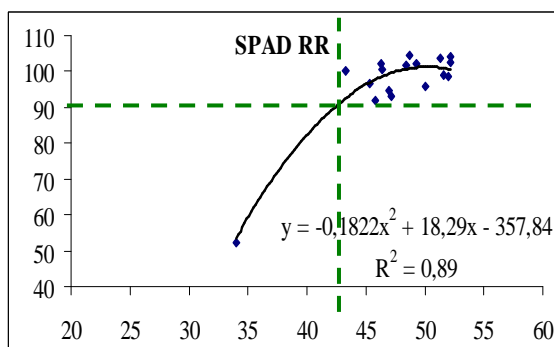
Tabla 10: Número de observaciones (n) y coeficiente de determinación (R^2) para estudiar la relación entre el rendimiento relativo (RR) y el valor del medidor de clorofila SPAD-502® para 4 cultivares en Z-37.

Rendimiento relativo vs SPAD-502®							
Badiel		Berdún		Nogal		Osado	
n	R^2	n	R^2	n	R^2	n	R^2
17	0,89	17	0,91	17	0,94	17	0,87

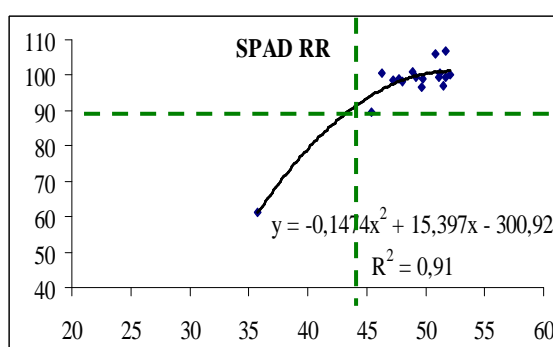
Los coeficientes de determinación obtenidos, tal y como se observa en la Tabla 10, son próximos a 0,90 en cualquiera de los casos estudiados, lo que podría indicar una buena correlación entre el rendimiento relativo y los valores obtenidos con el medidor de clorofila. Así, los valores mas elevados obtenidos con el medidor de clorofila podrían tener como resultado, mayores rendimientos relativos.

En la Figura 7 se muestran las curvas de tendencia en cada variedad estableciéndose el límite del 90% del rendimiento máximo como valor considerado aceptable de rendimiento a nivel de agricultor. Así mismo, se establece el valor del medidor de clorofila en cada variedad, a partir del cual se obtendrían rendimientos relativos superiores al 90%.

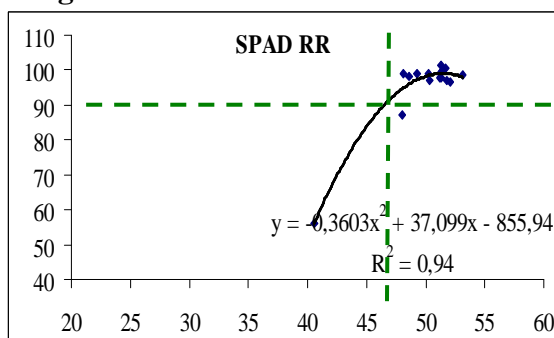
Badiel



Berdún



Nogal



Osado

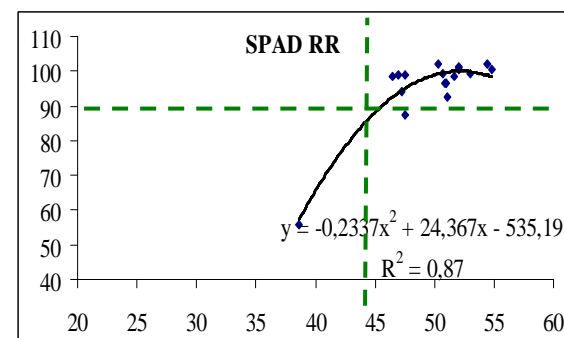


Figura 7: Relación entre el Rendimiento relativo y los valores del medidor de clorofila SPAD-502® para el estado fonológico Z-37 en las cuatro variedades.

Se observa en la Figura 7 que para lecturas obtenidas por el medidor de clorofila a partir de las que se alcanza el 90% del rendimiento máximo potencial son diferentes para cada variedad. Estos valores se han calculado por resolución de la ecuación de segundo grado

correspondiente al 90% del valor del rendimiento relativo. Para Badiel este valor se establece en 43, para Berdún es el valor 44, para Nogal el valor calculado es 47 y para Osado es 44. Por lo tanto, para cada variedad se obtendrá el 90% del rendimiento máximo potencial a partir de los valores del medidor de clorofila calculados. Sin embargo, no podemos determinar si con valores inferiores a los establecidos para cada variedad, podríamos obtener rendimientos del 90% ya que faltan datos entre el menor valor obtenido y los valores siguientes con los que se alcanza este rendimiento relativo. Este valor mínimo, corresponde al rendimiento relativo obtenido en el tratamiento testigo de la primera campaña en todas las variedades.

El error del SPAD, se calcula como el porcentaje de datos fuera de tipo respecto al total de datos obtenidos, teniendo en cuenta el valor del medidor de clorofila a partir del cual se obtiene el 90% del rendimiento máximo para cada una de las variedades. Los valores fuera de tipo se consideran aquellos que no alcanzan el 90% del rendimiento para el valor de SPAD establecido para cada variedad (defecto) o presentan un rendimiento superior para valores menores de SPAD (exceso). El error calculado fue de un 5,8% (por exceso o defecto) para todas las variedades excepto Badiel, tal y como se muestra en la Tabla 11:

Tabla 11: Valores críticos de SPAD obtenidos en cada variedad, datos fuera de tipo y % de error calculado. Número de observaciones (n).

Variedades	n	Valor crítico SPAD	Datos fuera de tipo		Error %
			exceso	defecto	
Badiel	17	43	0	0	0
Berdún	17	44	0	1	5,8
Nogal	17	47	0	1	5,8
Osado	17	44	0	1	5,8

5.3. Lecturas en el estado fenológico de aparición de espiga.

En el estado fenológico de espigado se han estudiado las relaciones entre el porcentaje de N en grano y la dosis de fertilización nitrogenada, además de haberse realizado medidas con el medidor de clorofila SPAD-502® y analizar su relación con el porcentaje de N en grano y con parámetros de calidad panadera como extensibilidad (L) y fuerza panadera (W).

5.3.1 Relación entre el porcentaje de N en grano y la dosis de fertilización nitrogenada.

La concentración de N en grano para cada tratamiento, se ha calculado haciendo la media de sus repeticiones en cada campaña y para cada una de las variedades ensayadas.

Los resultados obtenidos durante la campaña 2009-2010 se muestran en la Tabla 12:

Tabla 12: Porcentaje de N medio en grano y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2009-2010.

Trat	Dosis N	Badiel	Berdún	Nogal	Osado
1	Testigo-0 kg N /ha	1,83 ± 0,08 c	1,72 ± 0,04 b	1,75 ± 0,11 b	1,91 ± 0,05 b
3	220 kg N /ha	2,30 ± 0,01 b	2,14 ± 0,17 a	2,38 ± 0,21 a	2,40 ± 0,09 a
5	340 kg N /ha	2,63 ± 0,04 a	2,37 ± 0,08 a	2,54 ± 0,14 a	2,55 ± 0,22 a

Las letras desiguales indican diferencias significativas para nivel de significación de 0,05.

En esta campaña se realizó la determinación de porcentaje de nitrógeno en grano para la dosis testigo y para las dosis de 220 kg de N /ha y 340 kg de N /ha (Tabla 12). El porcentaje de N en grano es menor en todas las variedades en el tratamiento testigo, sin fertilización, en relación a los demás tratamientos. Se ha producido un aumento en el porcentaje de N al aumentar la dosis de fertilización nitrogenada en todas las variedades objeto de este estudio. La variedad que presenta un mayor incremento en el porcentaje de N con la dosis es Badiel y la que presenta el menor es Berdún. Esta circunstancia es debida a la característica varietal, ya que existen variedades que en igualdad de condiciones presentan un mayor porcentaje de N en grano.

En cualquier caso, todas las variedades superan el % de N en grano establecido en la norma oficial para incluirlos en sus respectivos grupos, para dosis superiores a 220 kg de N /ha. Badiel se incluye en el Grupo 1 con un contenido en proteína en grano igual o superior a 13%, equivalente a un 2,3% de N en grano. Berdún y Osado, presentan porcentajes de N en grano superiores a 1,92% (11% de proteína) por lo que se incluirían en el Grupo 3. Nogal con porcentajes superiores a 2,1% de N en grano (12% de proteína) se incluye en el Grupo 2.

Un aporte de 220 kg N/ha dio lugar a incrementos significativos de %N en grano, en todas las variedades. Sin embargo, un aporte superior (340 kg de N/ha) únicamente tuvo respuesta significativa en el caso de Badiel.

Se comprobó la existencia de diferencias significativas entre dosis de N y porcentaje de N en grano ($p > 0,05$). Estas diferencias se producen entre fertilizar o no en cada variedad y entre las diferentes dosis en Badiel y el porcentaje de N en grano.

Tenemos que recordar que el rendimiento en esta campaña respondió positivamente al aumento de la dosis de fertilización nitrogenada por lo que un aumento en el rendimiento no estaría relacionado con un menor contenido en N en grano.

Los resultados obtenidos durante la campaña 2010-2011 se muestran en la Tabla 13:

Tabla13: Porcentaje de N en grano y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2010-2011.

Trat	Dosis de N	Badiel	Berdún	Nogal	Osado
1	Testigo-0 kg N /ha	1,90 ± 0,05 b	1,72 ± 0,12 b	1,77 ± 0,12 b	1,79 ± 0,1 b
3	180 kg N /ha	2,30 ± 0,05 a	2,09 ± 0,06 a	2,25 ± 0,07 a	2,24 ± 0,03 a
4	240 kg N /ha	2,31 ± 0,05 a	2,10 ± 0,04 a	2,31 ± 0,07 a	2,22 ± 0,06 a
5	300 kg N /ha	2,28 ± 0,01 a	2,18 ± 0,02 a	2,23 ± 0,06 a	2,27 ± 0,05 a

Las letras desiguales indican diferencias significativas para nivel de significación de 0,05.

Se observa en la Tabla 13 que en todas las variedades se obtiene un porcentaje de N en grano que las incluye en los Grupos respectivos establecidos en la normativa oficial (para este parámetro) a dosis de fertilización nitrogenada de 180 kg de N /ha.

Se produce un aumento del porcentaje de N en grano en los casos en los que ha habido fertilización con respecto a la no fertilización (testigo) en todas las variedades. Existen diferencias significativas entre el tratamiento testigo y la dosis de 180 kg de N/ha en todas las variedades. La variedad que ha presentado menores porcentajes de nitrógeno en grano, para todas las dosis, ha sido Berdún.

Los resultados obtenidos durante la campaña 2011-2012 se muestran en la Tabla 14:

Tabla 14: Porcentaje de N en grano y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2011-2012.

Trat	Dosis N	Badiel	Berdún	Nogal	Osado
1	Testigo-0 kg N /ha	2,70 \pm 0,05 a	2,18 \pm 0,33 b	2,24 \pm 0,01 b	2,51 \pm 0,01 b
5	150 kg de N /ha	2,81 \pm 0,08 a	2,55 \pm 0,08 a	2,98 \pm 0,06 a	2,72 \pm 0,02 a
6	210 kg de N /ha	2,68 \pm 0,01 a	2,47 \pm 0,02 a	2,90 \pm 0,05 a	2,70 \pm 0,10 a
7	270 kg de N /ha	2,77 \pm 0,17 a	2,50 \pm 0,06 a	2,89 \pm 0,01 a	2,74 \pm 0,01 a

Las letras desiguales indican diferencias significativas para nivel de significación de 0,05.

Los porcentaje de N en grano determinados en esta campaña son superiores a 2,3 a partir de la dosis de 150 Kg de N /ha para todas la variedades. Considerando exclusivamente este parámetro, se incluirían en el Grupo 1. Las variedades con valores más altos corresponden a Nogal y Osado, presentando Berdún el menor porcentaje para cualquiera de las dosis estudiadas (no se incluye la testigo). Para dosis superiores a 150 Kg de N /ha, no se observa incremento en Nogal y Osado y este disminuye en Badiel y Berdún. Se han obtenido diferencias significativas para las distintas dosis de N en Badiel. Para el resto de las variedades unucamente existen diferencias entre el tratamiento testigo y la primera dosis.

Los valores obtenidos son superiores a los de las campañas anteriores. Este elevado porcentaje de N en grano puede ser debido a una elevada disponibilidad de N en suelo, por lo que el aumento de las dosis ha supuesto un incremento de este porcentaje y no en el rendimiento.

El conjunto de las tres campañas muestra diferencias en cuanto a las variedades ensayadas, siendo la que muestra mayores porcentajes de N, Badiel y la que presenta los menores Berdún. Nogal y Osado muestran un comportamiento intermedio entre las dos anteriores y semejante entre ellas.

Al aumentar las dosis de la fertilización nitrogenada se produce un incremento en el contenido de N en grano (Irañeta et al., 2006). Estos resultados se encuentran en la línea de diferentes autores en distintos ensayos con otras variedades como López Bellido L. et al. (2004) donde se afirma que el contenido en proteínas en grano aumenta significativamente con la dosis de 150 kg N/ha en trigo harinero variedad Gazul, influyendo muy positivamente en la calidad harinera. López-Bellido et al. (2005) concluyeron que el medidor de clorofila podía ser utilizado para predecir la concentración

de N en el grano de la variedad Hereward, en ensayos realizados durante varias campañas en Inglaterra.

5.3.2. Relación entre el porcentaje de N en grano y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502®.

Se han establecido relaciones entre el porcentaje de N en grano y las lecturas obtenidas con el medidor de clorofila SPAD-502® en el estado fenológico Z-55, para cada una de las variedades estudiadas en las tres campañas y referidos a los tratamientos ensayados.

Se calcularon los coeficientes de determinación para cada una de las variedades tal y como se muestran en la Tabla 15:

Tabla 15: Número de observaciones (n) y coeficiente de determinación (R^2) para estudiar la relación entre el porcentaje N en grano y el valor del medidor de clorofila SPAD en estado fenológico Z-55 para 4 cultivares de trigo.

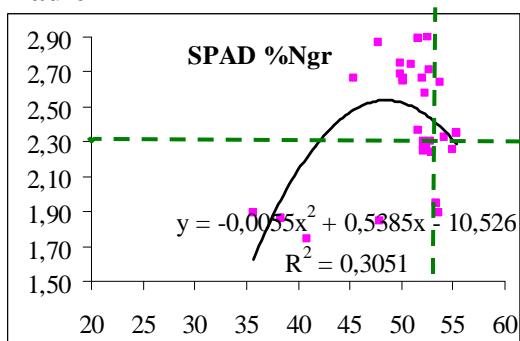
% de N vs SPAD-502®							
Badiel		Berdún		Nogal		Osado	
n	R^2	n	R^2	n	R^2	n	R^2
30	0,30	31	0,75	31	0,24	31	0,23

Los coeficientes de determinación en todos los casos, salvo Berdún, muestran valores muy bajos, por lo que no se puede establecer relación entre el porcentaje de N en grano y los valores obtenidos con el medidor de clorofila en este estado fenológico.

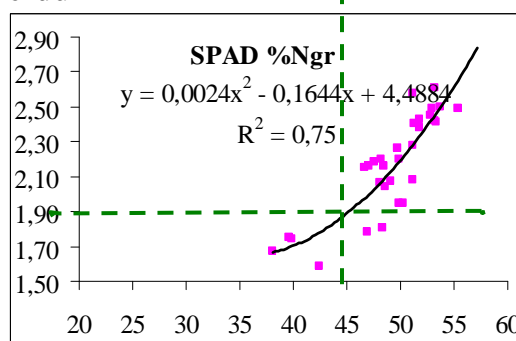
La relación de los datos tomados con el medidor de clorofila en el estado fenológico Z-55 y el porcentaje de N en grano se muestran en la Figura 9.

Se ha establecido un porcentaje de N en grano para cada variedad de acuerdo con el porcentaje de proteína en grano establecido en el Real Decreto 1615/201.

Badiel



Berdún



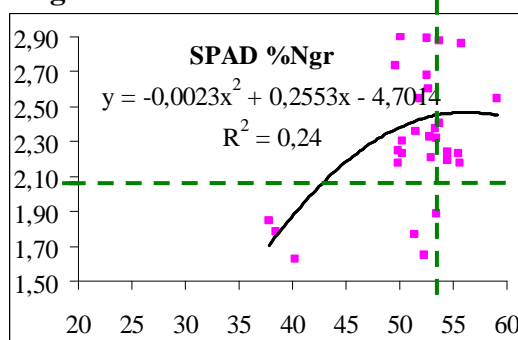
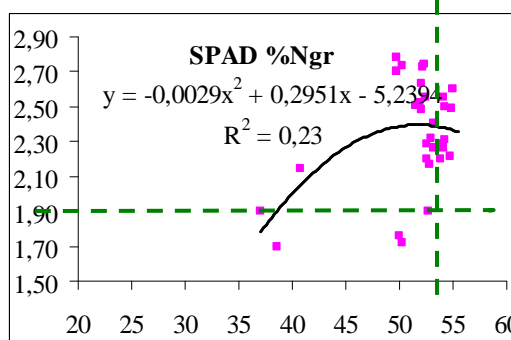
Nogal**Osado**

Figura 8: Relación entre porcentaje de N en grano y lecturas del medidor de clorofila SPAD para las variedades estudiadas en el estado fenológico Z-55.

Para la variedad Badiel, el porcentaje de proteína que debería contener el grano para incluirla en el Grupo 1 de la clasificación teórica oficial (Real Decreto 1615/2010, de 7 de diciembre), debería ser igual o superior al 13% que equivale al 2,3% de N en grano. Para Berdún y Osado este porcentaje debería ser superior a 1,92% para ser incluidos en el Grupo teórico 3 y superior a 2,1 en el caso de Nogal para incluir a esta variedad en el Grupo 2.

En la variedad Berdún, se considera un porcentaje de N en grano igual o mayor a 1,92% que corresponde a un contenido en proteína del 11%. El valor del medidor de clorofila a partir del cual se obtiene ese porcentaje es de 45 como se observa en la Figura 8. El error estimado es del 6,45 % que corresponde a dos valores fuera de tipo por defecto. Esta variedad es la única que presenta un buen coeficiente de determinación que nos permite establecer el valor de 45 del medidor de clorofila como valor mínimo para obtener el % de N en grano establecido.

Los bajos coeficientes de determinación obtenidos en el resto de las variedades no permiten determinar un valor del medidor de clorofila a partir del cual se obtendrían los % de N establecidos.

En la práctica agraria se toma el valor de 54 del medidor de clorofila como valor mínimo a partir del cual se obtendrían los valores de % de N en grano establecidos para cada variedad. Este valor corresponde al valor de 700 medido con el medidor N-Tester empleado habitualmente.

En la variedad Nogal y Osado valores obtenidos con el medidor de clorofila superiores a 54 corresponden a porcentajes de N en grano superiores a 2,1 y 1,92 respectivamente.

En otros estudios realizados se ha demostrado una buena correlación entre el porcentaje de nitrógeno en grano y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502® en anthesis ($R=0,80$) (Echeverría, et al., 2001; López Bellido, et al., 2004). En nuestro caso salvo en la variedad Berdún las correlaciones obtenidas son inferiores.

5.3.3. Relación entre la dosis de fertilización nitrogenada y Fuerza panadera.

La fuerza panadera es uno de los parámetros reológicos más tenidos en cuenta a la hora de establecer la calidad panadera de la harina procedente de los granos de trigo. Este parámetro, junto con la extensibilidad (L) y la relación tenacidad-extensibilidad (P/L) permite a la industria panadera clasificar las harinas y determinar su destino. La fuerza panadera está determinada genéticamente según la variedad y por las condiciones climáticas y el manejo del cultivo. La gestión de la fertilización nitrogenada es el factor de manejo de cultivo que puede mejorar significativamente la calidad del trigo y por lo tanto, este parámetro.

Se ha estudiado la relación existente entre la fuerza panadera y la dosis de fertilización nitrogenada en las diferentes variedades en las tres campañas.

Los resultados obtenidos durante la campaña 2009-2010 se muestran en la Tabla 16:

Tabla 16: Fuerza panadera y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2009-2010

Trat	Dosis N	Badiel	Berdún	Nogal	Osado
1	Testigo-0 kg N /ha	120 ± 18,73 d	29 ± 4,04 c	99 ± 51,16 c	59 ± 12,57 c
2	160 kg N /ha	210 ± 21,70 c	63 ± 21,51 b	122 ± 20,50 b	118 ± 14,57 b
3	220 kg N /ha	292 ± 11,59 b	116 ± 38,00 a	157 ± 15,50 ab	137 ± 13,45 ab
4	280 kg N /ha	267 ± 36,00 b	130 ± 5,51 a	179 ± 4,62 ab	142 ± 19,15 a
5	340 kg N /ha	333 ± 8,32 a	120 ± 22,74 a	188 ± 21,65 a	150 ± 49,96 a

Las letras desiguales indican diferencias significativas para nivel de significación de 0,05.

Se observa en los datos mostrados en la Tabla 16 la diferencia de fuerza panadera entre las diferentes variedades en estudio. Para el tratamiento testigo, todas las variedades presentan valores de fuerza panadera muy por debajo a los teóricos establecidos en la normativa oficial.

Es Badiel, la que presenta mayores valores de fuerza panadera en cualquiera de las dosis aplicadas y Berdún, la que presenta en cualquier caso menores valores, lo que indica la influencia varietal. Este parámetro (W) aumenta al hacerlo la dosis en todas las variedades. Badiel, incluida en el Grupo1 según la nueva normativa (considerando solo este parámetro), lo estaría según los datos obtenidos, únicamente para la máxima dosis ensayada (340 de N kg/ha) ya que es para esta cuando alcanza valores superiores a 300(W). Se producen diferencias significativas para la dosis de fertilización nitrogenada y la fuerza panadera en Badiel. En Berdún, se obtienen diferencias significativas para las dosis testigo, 160 y 220 kg de N/ha.

Nogal, variedad incluida en el Grupo 2, estaría incluida en este caso en el grupo 3, ya que no alcanza para ninguna de las dosis valores de W superiores a 200.

Berdún y Osado se incluirían en el Grupo 3 a partir de la dosis de fertilización nitrogenada de 220 kg/ha en la primera y 160 kg/ha en la segunda. Para dosis inferiores en ambos casos, los valores obtenidos de W son menores de lo establecido para harinas panificables. Los resultados obtenidos durante la campaña 2010-2011 se muestran en la Tabla 17:

Tabla 17: Fuerza panadera y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2010-2011

Trat	Dosis de N	Badiel	Berdún	Nogal	Osado
1	Testigo-0 kg N /ha	263 \pm 10,44 b	87 \pm 8,50 c	151 \pm 7,21 b	117 \pm 8,08 b
2	120 kg N /ha	357 \pm 14,00 a	118 \pm 5,51 b	207 \pm 10,50 a	134 \pm 15,82 ab
3	180 kg N /ha	384 \pm 42,33 a	138 \pm 15,71 ab	220 \pm 19,52 a	152 \pm 12,66 a
4	240 kg N /ha	399 \pm 56,51 a	134 \pm 12,70 ab	235 \pm 19,55 a	163 \pm 6,56 a
5	300 kg N /ha	384 \pm 30,40 a	167 \pm 26,96 a	231 \pm 27,54 a	151 \pm 4,51 a

Las letras desiguales indican diferencias significativas para nivel de significación de 0,05.

Según los datos obtenidos (Tabla 17), la fuerza panadera en el tratamiento testigo no incluiría a ninguna variedad, excepto Osado, en los grupos teóricos establecidos en la normativa vigente. Para el resto de los tratamientos cada una de las variedades estaría incluida en los grupos preestablecidos, siendo la dosis de fertilización nitrogenada menor en la que esto se produce de 120 kg de N /ha. Se observa además, un descenso en los valores de este parámetro para la máxima dosis aplicada (300 kg de N /ha) en todas las variedades a excepción de Berdún. Se han obtenido diferencias significativas entre el tratamiento testigo y la dosis de 120 kg de N/ha en todas las variedades.

Durante la campaña 2011-2012 se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 18:

Tabla 18: Fuerza panadera y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2011-2012.

Trat	Dosis N	Badiel	Berdún	Nogal	Osado
1	Testigo-0 kg N/ha	340 \pm 34,53 b	76 \pm 37,61 a	247 \pm 3,14 a	128 \pm 31,22 a
2	30 kg de N /ha	386 \pm 92,67 ab	69 \pm 22,03 a	237 \pm 5,51 a	125 \pm 24,43 a
3	60 kg de N /ha	373 \pm 37,61 ab	82 \pm 3,05 a	282 \pm 4,04 a	129 \pm 32,23 a
4	90 kg de N /ha	401 \pm 27,40 ab	87 \pm 10,97 a	261 \pm 5,77 a	128 \pm 20,30 a
5	150 kg de N /ha	407 \pm 54,15 ab	88 \pm 13,32 a	276 \pm 14,04 a	137 \pm 18,23 a
6	210 kg de N /ha	423 \pm 11,00 a	87 \pm 14,57 a	278 \pm 1,73 a	132 \pm 25,14 a
7	270 kg de N /ha	382 \pm 55,38 ab	86 \pm 7,55 a	279 \pm 2,31 a	141 \pm 9,85 a

Las letras desiguales indican diferencias significativas para nivel de significación de 0,05.

La variedad Badiel presentó en esta campaña valores superiores a 300 de fuerza panadera para cualquiera de las dosis aplicadas incluida la dosis testigo, sin aporte de fertilización nitrogenada. Los datos obtenidos permiten clasificar la variedad Badiel como un trigo de fuerza (Grupo1). Se obtienen diferencias significativas para los tratamientos testigo y para la dosis de 210 kg de N/ha.

Para la variedad Berdún se observa en la Tabla 18, los bajos niveles de fuerza panadera que se obtienen para cualquiera de los tratamientos ensayados, siempre inferiores a la mínima exigida de 100. Esto supone un bajo contenido de las proteínas responsables de la fuerza panadera, las gluteninas, en relación con el contenido total de proteínas. El proceso de síntesis de las gluteninas puede haberse visto inhibido por factores externos, como elevadas temperaturas en el momento en el que se estaba llevando a cabo el llenado del grano. Durante este periodo se registraron temperaturas por encima de 30 °C, llegándose a alcanzar los 36°C, durante más de cinco días seguidos. Esta circunstancia puede haber provocado un aumento en la síntesis de gliadinas variando la relación final entre estas proteínas en el grano de trigo (Savin, 2001).

Osado presenta valores de fuerza panadera, que aún estando dentro de los límites, no han tenido un incremento como el de Badiel y Nogal por lo que podría considerarse que ha sufrido en alguna medida el estrés térmico. Este hecho no afectó al resto de las variedades al ser menos sensibles al estrés térmico en el momento de llenado del grano. El patrón proteico (composición de gliadinas y gluteninas), único para cada variedad, es diferencialmente afectado por el ambiente (Lerner et al., 2013).

Nogal y Osado tienen en todos los casos valores de fuerza panadera que los incluiría en sus respectivos grupos teóricos (2 y 3). No existen diferencias significativas entre tratamientos para Berdún, Nogal y Osado.

Independientemente de la campaña y de los tratamientos aplicados en ellas se observa que la variedad que presenta los valores más elevados de fuerza panadera (W) es Badiel. Se considera una variedad de fuerza lo que permite utilizar su harina en la industria panadera como correctora, lo que posibilita mejorar las características de calidad de harinas destinadas a la industria panadera que presentan valores inferiores.

5.3.4. Relación entre la dosis de fertilización nitrogenada y la Extensibilidad.

Se ha determinado la extensibilidad de la harina obtenida de granos de trigo de las variedades objeto de estudio, procedentes de diferentes tratamientos nitrogenados en distintas campañas. Los resultados obtenidos durante las diferentes campañas se refieren a la media de las repeticiones (3) de cada tratamiento.

Los resultados obtenidos durante la campaña 2009-2010 se muestran en la Tabla 19:

Tabla 19: Extensibilidad y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2009-2010.

Trat	Dosis N	Badiel	Berdún	Nogal	Osado
1	Testigo-0 kg N /ha	40 ± 3,46 e	86 ± 4,00 c	75 ± 15,72 d	95 ± 6,66 d
2	160 kg N /ha	80 ± 12,05 d	97 ± 25,06 c	91 ± 11,31 c	168 ± 13,89 c
3	220 kg N /ha	112 ± 3,05 c	144 ± 15,30 b	112 ± 10,26 bc	181 ± 4,58 b
4	280 kg N /ha	127 ± 20,80 b	158 ± 10,78 ab	125 ± 6,56 ab	190 ± 6,93 b
5	340 kg N /ha	144 ± 1,00 a	176 ± 17,78 a	127 ± 6,11 a	211 ± 7,09 a

Las letras desiguales indican diferencias significativas para nivel de significación de 0,05.

Se observa en la Tabla 19 que con dosis crecientes de fertilizante nitrogenado tiende a aumentar la extensibilidad de la masa obtenida, lo que podría relacionarse con el incremento de proteína acumulada en grano (incremento en la proporción de gliadinas), independientemente de la variedad. Sin embargo, existen diferencias entre variedades en cuanto al valor de la extensibilidad, donde Osado presenta valores más elevados para cualquiera de los tratamientos ensayados incluido el testigo. Esta variedad presenta un mayor incremento del parámetro en estudio al aumentar la dosis de fertilización nitrogenada. Para el tratamiento testigo es Badiel la variedad que presenta menor extensibilidad seguida de Nogal.

Los resultados obtenidos durante la campaña 2010-2011 se muestran en la Tabla 20:

Tabla 20: Extensibilidad y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2010-2011

Trat	Dosis N	Badiel	Berdún	Nogal	Osado
1	Testigo-0 kg N /ha	99 ± 5,51 b	94 ± 10,02 c	72 ± 15,71 b	154 ± 1,53 b
2	120 kg N /ha	118 ± 12,86 ab	138 ± 20,84 b	89 ± 11,31 ab	187 ± 25,70 a
3	180 kg N /ha	118 ± 6,00 a	151 ± 13,89 ab	96 ± 10,26 a	165 ± 11,68 ab
4	240 kg N /ha	132 ± 20,55 a	152 ± 29,13 a	105 ± 6,56 a	172 ± 14,42 ab
5	300 kg N /ha	114 ± 14,14 a	129 ± 42,19 b	105 ± 6,11 a	193 ± 3,05 a

Las letras desiguales indican diferencias significativas para nivel de significación de 0,05.

Analizando los resultados obtenidos en esta campaña, se observa en la Tabla 20 un incremento en los valores de extensibilidad al aumentar la dosis de fertilización nitrogenada para todas las variedades. Para Badiel y Berdún este incremento es negativo al aplicar dosis de 300 kg de N/ha.

La variedad para la cual se produce un mayor incremento es Osado, como en la campaña anterior y Nogal la que presenta valores más bajos que el resto de las variedades para los mismos tratamientos. Es relevante señalar que los valores de extensibilidad obtenidos en el tratamiento testigo, en todas las variedades, son considerablemente superiores en esta campaña que en la precedente. Este hecho podría estar relacionado con la escasa respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada, en general. El nitrógeno podría ser en esta parcela y en esta campaña, un factor no limitante por lo que aportes extra de este nutriente han podido tener como resultado una mayor concentración de N y por tanto, de proteína, en grano.

En la campaña 2011-2012 se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 21:

Tabla 21: Extensibilidad y desviación estándar por tratamiento en cada variedad en la campaña 2011-2012

Trat	Dosis de N	Badiel	Berdún	Nogal	Osado
1	Testigo-0 kg N /ha	121 ± 14,73 a	173 ± 16,77 a	115 ± 3,21 a	217 ± 31,22 a
2	30 kg N /ha	131 ± 9,018 a	169 ± 48,57 a	126 ± 5,51 a	206 ± 24,43 a
3	60 kg N /ha	118 ± 7,767 a	150 ± 15,88 a	128 ± 4,04 a	192 ± 41,72 a
4	90 kg N /ha	120 ± 9,86 a	159 ± 27,93 a	128 ± 5,77 a	206 ± 20,30 a
5	150 kg N /ha	133 ± 8,08 a	155 ± 23,81 a	125 ± 14,05 a	185 ± 18,23 a
6	210 kg N /ha	135 ± 14,64 a	147 ± 18,17 a	121 ± 1,73 a	176 ± 25,15 a
7	270 kg N /ha	134 ± 10,69 a	188 ± 62,65 a	119 ± 2,31 a	193 ± 9,85 a

Las letras desiguales indican diferencias significativas para nivel de significación de 0,05.

En esta campaña, como se observa en la Tabla 21, el incremento de la fertilización nitrogenada no se traduce en el aumento de la extensibilidad, incluso en algunos casos se produce un descenso en este parámetro al aumentar la dosis. Es la variedad Osado la que presenta valores de extensibilidad más elevados para cualquiera de las dosis de fertilización nitrogenada lo que podría indicar una mayor proporción de gliadinas con respecto a las gluteninas. Berdún presenta valores algo más elevados de lo que cabría esperar posiblemente debido a una mayor proporción de gliadinas producida tal vez, por estrés térmico. Esta situación podría haber afectado también a Osado aunque en menor medida.

5.3.5. Relación entre Fuerza panadera y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502®.

Se han establecido relaciones entre la fuerza panadera y las lecturas obtenidas con el medidor de clorofila en el estado fenológico Z-55 (espigado) para cada una de las variedades estudiadas en las tres campañas y referidos a los tratamientos ensayados.

Se calcularon los coeficientes de determinación para cada una de las variedades tal y como se muestra en la Tabla 22:

Tabla 22: Número de observaciones (n) y coeficiente de determinación (R^2) para estudiar la relación entre la fuerza panadera (W) y el valor del medidor de clorofila SPAD para 4 cultivares de trigo.

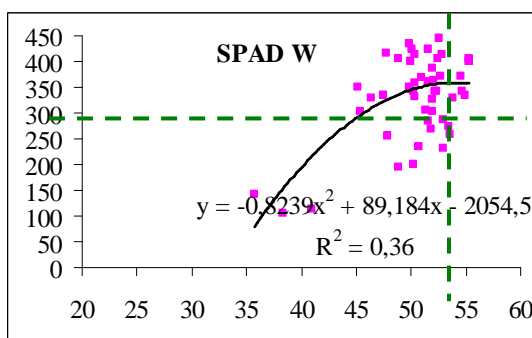
Fuerza panadera (W) vs SPAD-502®							
Badiel		Berdún		Nogal		Osado	
n	R^2	n	R^2	n	R^2	n	R^2
50	0,36	51	0,27	50	0,36	51	0,54

La muestra inicial contaba con 51 datos de los cuales dos fueron desechados por error de lectura (Nogal: campaña 2009-2010, rep.1, trat.2 y Badiel: campaña 2010-2011, rep.2, trat.5).

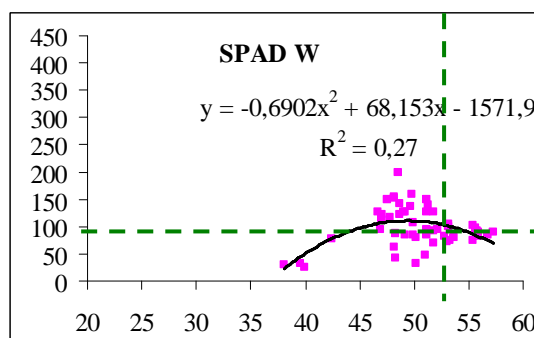
Los coeficientes de determinación obtenidos, tal como se observa en la Tabla 22 indican que no existe correlación entre la fuerza panadera y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502®, en todas las variedades. Este parámetro está estrechamente relacionado con las condiciones de cada campaña y el manejo del cultivo en cada una de ellas, siendo el principal la fertilización nitrogenada.

Se ha considerado para cada una de las variedades, la mínima fuerza panadera contemplada en la norma para ser incluida en el grupo teórico correspondiente, tal como se muestra en la Figura 9:

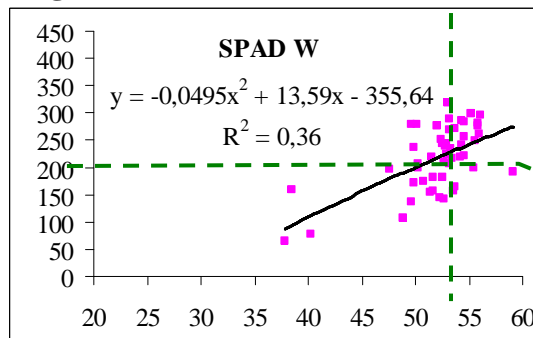
Badiel



Berdún



Nogal



Osado

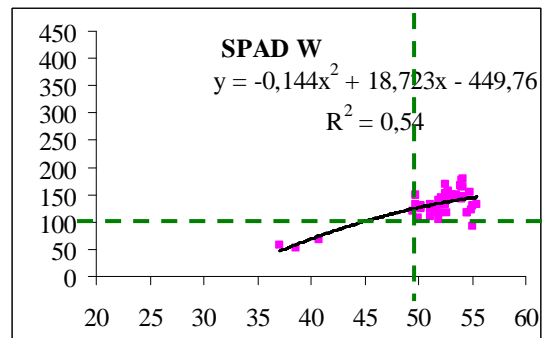


Figura 9: Relación entre Fuerza panadera y lecturas del medidor de clorofila SPAD en Z-55 para cuatro variedades de trigo.

Tomando para Badiel el valor de 300 de fuerza panadera establecido en la legislación vigente como mínimo para incluirlo en el grupo teórico 1, se podría determinar que se obtendría partir de valores obtenidos por el medidor de clorofila superiores a 54 (Figura 9) con el fin de asegurar este parámetro.

Esta variedad presenta valores superiores a 100 de W para todas los tratamientos y campañas por lo sería susceptible de ser empleada como harina apta para la industria panadera, considerando únicamente este parámetro.

En la práctica agraria se utiliza el valor del medidor de clorofila de 54 como valor a partir del cual se obtendría la fuerza panadera establecida para cada variedad en la normativa. El valor de 54 corresponde al valor de 700 medido con el medidor de clorofila N-Tester empleado habitualmente.

En Berdún se toma el límite de 100 como valor de fuerza panadera mínimo para incluirlo en el Grupo 3 de la normativa. Para valores superiores a 54 en el medidor de clorofila (8) se obtendrían valores de fuerza panadera superiores a 100 con un error del 37,5%. Se han obtenido 3 datos fuera de tipo (datos con valores de SPAD superiores a 54 que presentan valores de W por debajo de 100) que corresponden a la última campaña. Esta circunstancia podría explicarse atendiendo a un menor contenido en gluteninas provocado por estrés térmico comentado anteriormente.

Nogal se incluye en el Grupo 2 teórico en la normativa siempre que su fuerza panadera sea igual o superior a 200. Según lo observado en la Figura 10, para valores de SPAD superiores a 54 la fuerza panadera alcanza el valor de referencia con un error del 7,14 % (1 datos fuera de tipo por defecto de los 14 obtenidos).

Es en la variedad Osado en la que el coeficiente de determinación es más elevado y podríamos deducir que existe una correlación entre ambas variables según lo observado en la Figura 10. En esta se puede deducir que para valores superiores a 50 obtenidos en el medidor de clorofila fuerza panadera es superior a 100 con un error del 2,2%

Existen trabajos que establecen una buena correlación entre fuerza panadera y lecturas de SPAD en encañado ($R=0,77$) y en antesis ($R=0,82$) si bien estos resultados se obtuvieron para la variedad Gazul (Poblaciones et al. 2009) resultados que no se encuentran en la línea de los obtenidos en este trabajo para las variedades Berdún, Badiel y Nogal posiblemente debidos a la diferencia varietal.

5.3.6. Relación entre la Extensibilidad y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502®.

Los coeficientes de determinación obtenidos entre la extensibilidad y las lecturas realizadas con el medidor de clorofila en el estado fenológico Z-55 (espigado) para cada una de las variedades estudiadas en las tres campañas y referidos a los tratamientos ensayados se muestran en la Tabla 23:

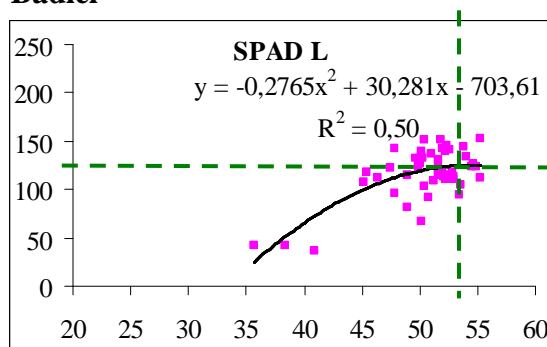
Tabla 23: Número de observaciones (n) y coeficiente de determinación (R^2) para estudiar la relación entre la extensibilidad (L) y el valor del medidor de clorofila SPAD para 4 cultivares de trigo.

Extensibilidad (L)vs SPAD-502®							
Badiel		Berdún		Nogal		Osado	
n	R^2	n	R^2	n	R^2	n	R^2
50	0,50	51	0,36	50	0,25	51	0,50

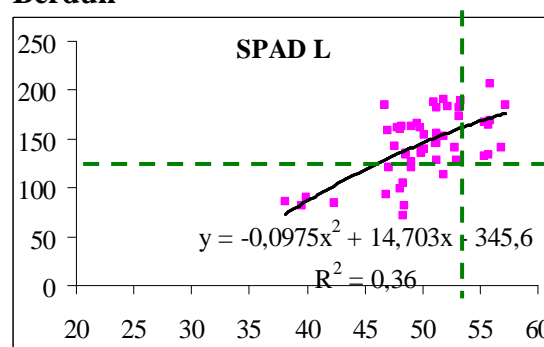
Los coeficientes de determinación obtenidos, tal como se observa en la Tabla 23 establecen correlaciones entre la extensibilidad y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502®, en Badiel y Osado, que no resultan aceptables dado que un 50% no presentaría correlación. Esta correlación es muy baja en las variedades Berdún y Nogal. Este parámetro está estrechamente relacionado con la diferencia varietal, las condiciones de cada campaña y el manejo del cultivo en cada una de ellas, siendo el principal la fertilización nitrogenada.

La extensibilidad y las lecturas del medidor de clorofila muestran elevados valores en el coeficiente de correlación en encañado ($R=78$) y en floración ($R=91$) para la variedad Gazul en ensayos realizados durante dos años en Córdoba por Poblaciones et al. (2009).

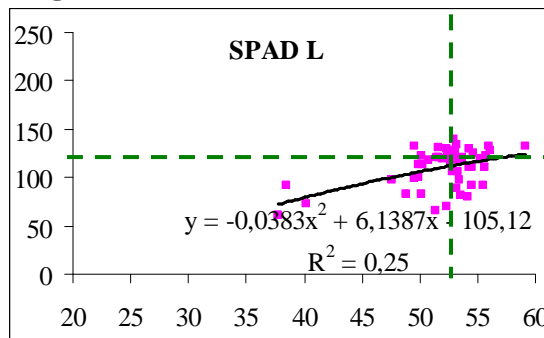
Badiel



Berdún



Nogal



Osado

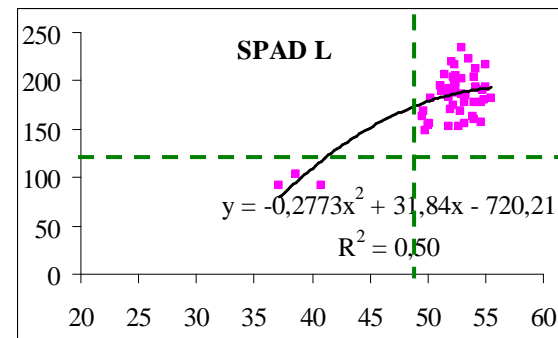


Figura 10: Relación entre Extensibilidad y lecturas del medidor de clorofila SPAD en Z-55 para cuatro variedades de trigo

Se ha establecido el valor de 120 mm de extensibilidad como valor a partir del cual se considera de buena calidad para la industria panadera (Goñi et.,al 2009).

Se ha tomado el valor utilizado en la práctica agraria de 54 como valor a partir del que se obtendrían extensibilidades iguales o superiores a 120 para las variedades Berdún, Badiel y Nogal (Figura 10). Para Osado se puede observar gráficamente en la Figura 11, que se alcanzan valores superiores a 120 de extensibilidad para todas las lecturas obtenidas con el medidor de clorofila SPAD-502® superiores a 50.

6. CONCLUSIONES

1- En los ensayos realizados, la dosis de N tuvo poca influencia sobre el rendimiento, observándose un claro efecto “campaña”. Del mismo modo se observó la existencia de una dosis de N por encima de la cuál no hay incremento del rendimiento. Nogal fue la variedad más productiva de las ensayadas.

2- Dosis superiores a la óptima para el rendimiento tuvieron poca influencia en el porcentaje de N en el grano, observándose un claro efecto “campaña”. Berdún obtuvo el porcentaje de N en grano más bajo, de las variedades ensayadas.

3- La fuerza y la extensibilidad se vieron afectadas por la dosis de N, por la campaña y por la variedad. Independientemente de la campaña, Badiel y Nogal dieron lugar a los valores más altos de fuerza, y Osado y Berdún a los valores más altos de extensibilidad.

4- En el estado fenológico de aparición de hoja bandera, se determinó el valor SPAD a partir del cual se obtiene el 90% del rendimiento máximo, siendo 43 en Badiel, 44 en Berdún, 47 en Nogal y 44 en Osado.

5- En el estado fenológico de mitad de espigado, los valores de SPAD muestran bajas correlaciones con el porcentaje de nitrógeno en el grano, excepto en Berdún ($R^2 = 0,75$). En Berdún, valores SPAD superiores a 45 dan lugar a porcentajes de N en grano iguales o superiores a 1,92% de N (Grupo 3), con un error del 6,45%.

6- En el estado fenológico de mitad de espigado, los valores SPAD muestran bajas correlaciones con la fuerza panadera y la extensibilidad ($R^2 \leq 0,6$). El valor SPAD utilizado en la práctica agraria (54), podría ser útil para Badiel, Nogal y Osado en el caso de la estimación de la fuerza panadera y en todas las variedades en el caso de la extensibilidad.

7. BIBLIOGRAFÍA

Addiscott, T.M., Whitmore, A.P. y Powlson, D.S. 1991. *Farming, fertilizers and the nitrate problem*. CAB International. Wallingford, Reino Unido.

Alcoz, M.M., Hons, F.M. y Haby, V.A. 1993. *Nitrogen fertilization timing effect on wheat production, nitrogen uptake efficiency, and residual soil nitrogen*. Agronomy Journal. 85 p 1198-1203.

Alley, M.M., Brann, D.E., Hammons, J.L., Scharf, P. y Baethgen, W.E. 1999. *Nitrogen management for winter wheat: Principles and recommendations*. Virginia Coop. Ext. Pub. 424-026.

Arregui, L.M., Merina, M., Irañeta, I., Lafarga, A., Baroja, E. y Quemada, M. 2002. *Use of a chlorophyll meter to predict winter wheat nitrogen requirement of winter cereals*. En *Proceedings of the VII Congress of European Society for Agronomy*. ESA. Córdoba. España.

Arregui, L.M., Lasa, B., Lafarga, A., Irañeta, I., Baroja, E. y Quemada, M. 2006. *Evaluation of chlorophyll meters as tools for N fertilization in winter wheat under humid mediterranean conditions*. European Journal of Agronomy. 24 p 140-148.

Borghi, B. 1999. *Nitrogen as determinant of wheat growth and yield*. En Satorre, E. H. y Slafer, G. A. *Wheat: ecology and physiology of yield determination*. p 67-84. Food Products Press. Nueva York, EEUU

Caputo C.; Criado M.V.. Roberts, I. 2009. *Removilización del nitrógeno en plantas de trigo como herramienta para el mejoramiento de la eficiencia de uso*. Informaciones Agronómicas. 42 p16-18.

Callejo González, M.J. 2002. *Industrias de cereales y derivados*. Ed. AMV.

Cerrato, M.E. y Blackmer, A.M. 1990. *Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer*. Agronomy Journal. 82 p138-143.

Chaney, K. 1990. *Effect of fertilizer rate on soil nitrate nitrogen after harvesting winter wheat*. Journal of Agricultural Science. 114 p 171-176.

Darwich, N. 2005. *Estrategias de fertilización nitrogenada para la obtención de trigos con calidad de exportación*. Informaciones Agronómicas. 27 p 21-24.

Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., De Falcis, D. y Maggiore, T. 1998. *Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat*. European Journal of Agronomy. 9 p11-20.

Denuit, J.P., Olivier, M., Goffaux, M.J., Herman, J.L., Goffart, J.P., Destain, J.P. y Frankinet, M. 2002. *Management of nitrogen fertilization of winter wheat and potato crops using the chlorophyll meter for crop nitrogen status assessment*. Agronomie. 22 p 847-853.

Departamento de Agricultura Ganadería y Alimentación. 1998. *Código de buenas prácticas agrarias de Navarra*. Pamplona, España.

Destain, J.P., Bodson, B., Herman, J.L., y Destain, J.P. 2002. *Évolution de la fumure du Livre blanc «céréales»*. F.U.S.A. y C.R.A, Gembloux, France.

Echeverría, H., Studdert, G., 2001. *Predicción de proteína en grano de trigo (Triticum aestivum L.) mediante el índice de verdor de la hoja bandera*. Ciencia del suelo 19(1) p 67-73. Argentina.

Follett, R.H., and R.F. Follett. 1992. Use of a Chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 23. p 687-697.

Fuertes de Mendizábal, T, Arritokieta Ortúzar, M^a, Aizpurúa, A., González-Moro, MB. y Estabillo, JM. 2009. Sustrai nº p 66-71

Fuertes Mendizábal, T., Aizpurúa, A., González-Moro, MB. y Estabillo, JM. 2010. *Mejora de la calidad panadera del trigo dividiendo la dosis de fertilizante N*. Revista Europea de Agronomía, 33 (1), 52-61

Gandrup, M.E., Garcia, F., Fabrizzi, K., Echeverria, H. 2004. *Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo*. INTA, Argentina RIA, 33 (3) p 105-121.

Garrido-Lestache, E., López-Bellido, R.J. y López-Bellido, L. 2004. *Effect of nitrogen rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions*. Field Crops Research. 85 p 213-236.

Gate, P. 1995. *Ecophysiologie du blé*. Lavoisier Tec and Doc, Paris.

Goñi J., Lafarga A. 2009. *Calidad de los trigos blandos en Navarra*. Navarra. Agraria. 175, p 21-26.

Goñi J. 2012. *Clasificación Comercial aplicada a trigos blandos*. Navarra Agraria. 195, p 31-33.

Guerrero, A. 1999. Cultivos Herbáceos extensivos. Mundi Prensa, Madrid.

Halvelka, U.D., Boyle, M.G. y Hardy, R.W.F. 1982. *Biological nitrogen fixation*. En Stevenson, F. J. *Nitrogen in agricultural soils*. p365-422. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Madison, (Wi), EEUU.

Irañeta, J., Lasa B., Lafager, A., 2006. *Manejo del nitrógeno en la mejora de la calidad de trigos harineros*. Vida rural. 234 p 44-48

Jenkinson, D.S. 2001. *The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture*. Plant and Soil. 228 p3-15.

Jiménez, A., Gil Moya, E. 2003. *Sistema para la aplicación selectiva de nitrógeno en tiempo real*. Agrotécnica. 2, p. 71-75.

Justes, E., Mary, B., Meynard, J.M., Machet, J.M. y Thelier-Huches, L. 1994. *Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops*. Annals of Botany. 74 p397-407.

Justes, E., Jeuffroy, M.H. y Mary, B. 1997a. *Wheat, barley and durum wheat*. En Lemaire, G. *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. p73-91. Springer-Verlag. Berlin. Alemania.

Kemmler, G. 1983. Modern aspects of wheat manuring. IPI-Bull. 1. International Potash Institute, Basel, Switzerland. Citado por **M.^a Arritokieta Ortuzar Irigorri**. 2007. Desarrollo de un sistema de fertilización nitrogenada racional en trigo blando de invierno bajo condiciones de clima mediterráneo húmedo. Tesis doctoral. UPV.

Lasa, B., Quemada Sáenz-Badillos, M., Frechilla, S., Muro, J., Lamsfus, C. y Aparicio- Tejo, P.M. 1997. *Effect of digested sewage sludge on the efficiency of N-fertilizer applied to barley*. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 48 p 241-246.

Lasa, B., Lafarga, A., Goikoa, J. I., Maeztu, I., Segura, A., Quemada, M., Fernández, E. B. 2005. *Optimización de la fertilización nitrogenada mediante el uso de medidores de clorofilas*. Navarra agraria, 150 p 31-35

Laurent, F, Justes, E., Gate P. 1996. *Jubil. La méthode Jubil® fait ses preuves*. Perspectives Agricoles 214, p 1-12.

Lemaire, G. y Gastal, F. 1997. *N uptake and distribution in plant canopies*. En Lemaire, G. *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Springer. Berlin, Alemania.

Lerner, S.E., Arrigoni, A.C., Arata, A.F. 2013. *Uso del nitrógeno y calidad industrial en cultivares argentinos de trigo pan (Triticum aestivum L.)*. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 31(1) p 77-87. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.

López-Bellido, L. 1991. *Cultivos herbáceos. Vol 1. Cereales*. Mundi-Prensa. Madrid, España.

López-Bellido, L., López-Bellido, R.J. y Redondo, R. 2005. *Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application*. Field Crops Research. 94 p 86-97.

López-Bellido, R.J., Shepherd, C.E. y Barraclough, P.B. 2004. *Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter*. European Journal of Agronomy. 20 p 313-320.

Maldonado J.M., Agüera E., Pérez R. 2000. *Asimilación del nitrógeno y del azufre. En: Fundamentos de Fisiología vegetal (Azcon-Bieto J., Telon M., Eds.).* McGraw Hill Interamericana. Madrid. p 235-246.

Miralles, D.J. y Slafer, G.A. 1999. *Wheat development.* En Satorre, E. H. y Slafer, G. A. *Wheat: ecology and physiology of yield determination.* p 13-43. Food Products Press. Binghamton (NY), EEUU.

Piekielek, W.P., Fox, R.H., Toth, J.D. y Macneal, K.E. 1995. *Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency.* Agronomy Journal. 87 p 403-408.

Poblaciones, M., López-Bellido, L., López-Bellido, R. 2009. *Field estimation of technological bread-making quality in wheat.* Field Crops Research. 112. p 253–259

Pujol, M. 1998. *Gramíneas: aplicaciones agronómicas.* Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

Real Decreto 1615/2010, de 7 de diciembre, por el que se aprueba la norma de calidad del trigo. BOE n °301

Reuter, D.J. y Robinson, J.B. 1986 *Plant Analysis. An interpretation manual.* Inkata Press, Sidney.

Ruffo, M. 2011. *La agricultura de precisión. Una nueva tecnología para producir alimentos.* Ciencia hoy. 21 (125). p 25-29

Savin, R. 2001. *La calidad del grano de trigo. Determinantes fisiológicos.* Trigo Cuaderno de Actualización Técnica 63, AACREA, pp.104-110.

Tiedje, J.M. 1988. *Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium.* p. 179-244. En Zehnder, A.J.B. (ed.) *Biology of anaerobic microorganisms.* John Wiley, New York.

Vidal, I., Longeri, L. y Hétier, J.M. 1999. *Nitrogen uptake and chlorophyll meter measurements in spring wheat.* Nutrient Cycling in Agroecosystems. 55 p1-6.

Villar Z, D., Ortega, R. 2003. *Medidor de clorofila: bases teóricas y su aplicación para la fertilización nitrogenada en cultivos.* Revista: Agronomía y Forestal UC. 18 p. 4-8.

Zadoks, J.C., Chang, T.T. y Konzak, C.F. 1974. *A decimal code for the growth stages of cereals.* Weed Research. 14 p 415-421.

8. ANEXOS

ANEXO I

Grupos y grados establecidos para los trigos blandos en el *Real Decreto 1615/2010, de 7 de diciembre, por el que se aprueba la norma de calidad del trigo.*

		«PARÁMETROS»				
		Proteína (%)	W	P/L	Índice de caída (segundos)	Degradación proteolítica (%)
GRUPO	1	≥ 13	≥ 300	≤ 1,8	≥ 250	< 15
	2	≥ 12	200 ≤ W < 300	≤ 1,5	≥ 250	< 15
	3	≥ 11	100 ≤ W < 200	≤ 1	≥ 250	< 15
	4	> 10	< 100	≤ 0,6		
	5	El resto.»				

		«PARÁMETROS»					
		Humedad (%)	Cenizas (%)	Índice de Caída (segundos)	Impurezas (%)	Otros cereales (%)	Asurados <1,9 mm y partidos (%)
GRADO	I	≤ 12	> 300	< 3	< 2	< 4	< 4
	II	≤ 12,5	> 300	< 4	< 3	< 6	< 6
	III	≤ 13	> 250	< 6	< 3	< 10	< 10
	IV	>13	< 250	> 6	> 3	> 10	> 10

La Clasificación teórica (*) de variedades de trigos blandos es la siguiente:

GRUPO	VARIEDAD
1	Alabanza, Babui, Badiel , Bitacora, Bologna, Cajeme 71, Califa Sur, Catedral, Crespon, Estero, Farak, Galera, Gazul, Greina, Jerezano, Patanegra, Perico, Pinzon, Sensas, Siena, Vejer, Yecora y Zarco.
2	Abate, Alcalá, Anapo, Antequera, Atomo, Atrevido, Aubusson, Aviso, Azuaga, Balneo, Bancal, Calden, Carles, CCB Ingenio, Cezanne, Chambo, Conil, Ecija, Escacena, Farmeur, Galeon, Granota, Guadalupe, Guru, Idalgo, Illico, Indor, Inoui, Kalango, Mane Nick, Mapeña, Matanza, Mecano, Nogal , Palesio, Pan Regio, Provinciale, Sogood, Soissons, Starpan, Subtil, Tejada y Tejon Nick.
3	Abderraman, Acienda, Adagio, Aguila, Altria, Andalou, Andelos, Anforeta, Anza, Apache, Artur Nick, Astral, Atilio, Avelino, Bandera, Bastide, Berdun , Bokaro, Botticelli, Bramante, Buenno, Callobre, Camargo, Caramba, Cartaya, CCB Legion, Chatelet, Equilibre, Etecho, Exotic, Gades, Galpino, Garcia, Innov, Isengrain, Kumberri, Kuneo, Lubrican, Manda, Masaccio, Onan, Osado , Peñalon, Pistolero, Platero, Plethore, Raffy, Rodrigo, Sarina, Scaleo, Terron, Trebujena y Trocadero.

4	Chamorro, Craklin, Marius, Odiel y Paledor.
Sin asignación (**)	Abental, Academie, Aerobic, Ambos, Amiro, Andino, Aragon03, Arezzo, Asteroide, Baner, Betres, Bolero, Brigio, Campeador, Charger, Cortex, Crousty, Dollar, Escualo, Esperia, Fiel, Fiorenzo, Fiuza, Hekto, Horzal, Kilopondio, Maltus, Manal, Montcada, Mv Emese, Mv Suba, Negev, Negrillo, Ombu, Ovalo, Pane247, Premio, PR22R58, Resulton, Rudo, Salama, Santoyo, Serio, Sollario, Taber, Tigre, Torero, Trapio, Tremie, Tribel, Trimax y Valbona.

(*) Se trata de una clasificación teórica. La clasificación final de una variedad podrá diferir de la reflejada en la tabla por la influencia que tienen el medio ambiente y las prácticas agronómicas sobre los parámetros de calidad.

(**) No existen datos para la asignación o no cumplen los requisitos de los grupos anteriores.»

ANEXO II

Distribución de tratamientos en parcelas y variedades en subparcelas en el diseño splits-plot en cada campaña.

1. Campaña 2009-2010 (Artajona)

Nº	Variedad	UFN	Reparto	Tipo abono	Nº	Variedad	UFN	Reparto	Tipo abono
1	Berdún	0	0		13	Badiel	0	0	
2	Nogal	0	0		14	Osado	0	0	
3	Berdún	160	160	Urea	15	Badiel	160	160	Urea
4	Nogal	160	160	Urea	16	Osado	160	160	Urea
5	Berdún	220	220	Urea	17	Badiel	220	220	Urea
6	Nogal	220	220	Urea	18	Osado	220	220	Urea
7	Berdún	280	280	Urea	19	Badiel	280	280	Urea
8	Nogal	280	280	Urea	20	Osado	280	280	Urea
9	Berdún	340	340	Urea	21	Badiel	340	340	Urea
10	Nogal	340	340	Urea	22	Osado	340	340	Urea

Croquis del ensayo

R6	17	18	13	14	21	22	15	16	23	24	19	20
R5	17	18	13	14	21	22	15	16	23	24	19	20
R4	15	16	19	20	17	18	21	22	13	14	23	24
R3	15	16	19	20	17	18	21	22	13	14	23	24
R2	19	20	21	22	23	24	13	14	15	16	17	18
R1	19	20	21	22	23	24	13	14	15	16	17	18

5	6	1	2	9	10	3	4	11	12	7	8	B
5	6	1	2	9	10	3	4	11	12	7	8	B
3	4	7	8	5	6	9	10	1	2	11	12	B
3	4	7	8	5	6	9	10	1	2	11	12	B
7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	B
7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	B

2. Campaña 2010-2011 (Miranda de Arga)

Nº	Variedad	UFN	Reparto	Tipo abono	Nº	Variedad	UFN	Reparto	Tipo abono
1	Berdún	0	0		13	Badiel	0	0	
2	Nogal	0	0		14	Osado	0	0	
3	Berdún	120	120	Urea	15	Badiel	120	120	Urea
4	Nogal	120	120	Urea	16	Osado	120	120	Urea
5	Berdún	180	180	Urea	17	Badiel	180	180	Urea
6	Nogal	180	180	Urea	18	Osado	180	180	Urea
7	Berdún	240	240	Urea	19	Badiel	240	240	Urea
8	Nogal	240	240	Urea	20	Osado	240	240	Urea
9	Berdún	300	300	Urea	21	Badiel	300	300	Urea
10	Nogal	300	300	Urea	22	Osado	300	300	Urea

Croquis del ensayo

R 6	3	4	11	12	7	8	5	6	1	2	9	10	
R 5	3	4	11	12	7	8	5	6	1	2	9	10	
R 4	9	10	1	2	11	12	3	4	7	8	5	6	
R 3	9	10	1	2	11	12	3	4	7	8	5	6	
R 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
R 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

3. Campaña 2011-2012 (Pitillas)

Nº	Variedad	UFN	Reparto	Tipo de abono		Variedad	UFN	Reparto	Tipo de abono
1	Berdún	0	0	Urea	17	Badiel	0	0	Urea
2	Nogal	0	0	Urea	18	Osado	0	0	Urea
3	Berdún	30	30	Urea	19	Badiel	30	30	Urea
4	Nogal	30	30	Urea	20	Osado	30	30	Urea
5	Berdún	60	60	Urea	21	Badiel	60	60	Urea
6	Nogal	60	60	Urea	22	Osado	60	60	Urea
7	Berdún	90	90	Urea	23	Badiel	90	90	Urea
8	Nogal	90	90	Urea	24	Osado	90	90	Urea
9	Berdún	150	150	Urea	25	Badiel	150	150	Urea
10	Nogal	150	150	Urea	26	Osado	150	150	Urea
11	Berdún	210	210	Urea	27	Badiel	210	210	Urea
12	Nogal	210	210	Urea	28	Osado	210	210	Urea
13	Berdún	270	270	Urea	29	Badiel	270	270	Urea
14	Nogal	270	270	Urea	30	Osado	270	270	Urea

Croquis del ensayo

[illegible]

ANEXO III

Triángulo de clasificación edáfica del suelo según la clasificación USDA.

